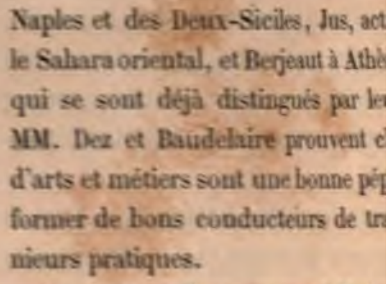



E. BIBL. RADCL.



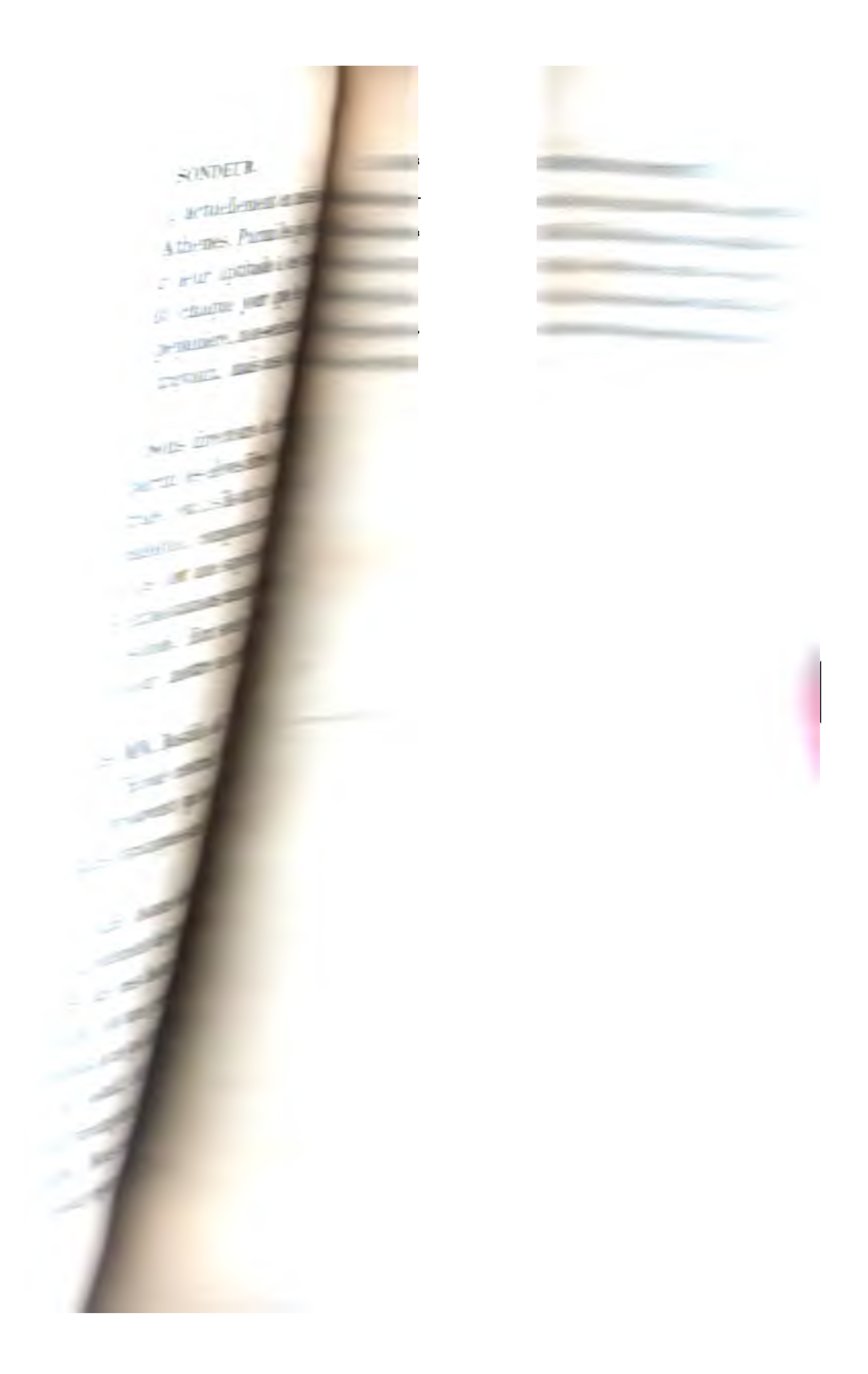


Naples et des Deux-Siciles, Jus, act
le Sahara oriental, et Berjeaut à Athè
qui se sont déjà distingués par le
MM. Dez et Baudelaire prouvent c
d'arts et métiers sont une bonne pép
former de bons conducteurs de tr
nieurs pratiques.

On peut aussi se procurer de b
l'École des mines de St-Étienne, pa
des mines de Paris, à l'École centra
rité pratique sous le rapport méca
élèves des écoles d'arts et métiers,
quée pour être employés dans les
qui suivent les découvertes de la
les connaissances indispensables
importants travaux.

Parmi ces derniers nous citer
mines de Paris, et Lippmann,
donnent un concours éclairé,
esprit on peut descendre à des d
un savoir supérieur.

En dehors de ces directeurs
mière a mis à même de diriger
devons signaler aussi quelques
leur intelligence, une bonne c
sont arrivés à suppléer victorie
Nous citerons en première lig
ont toujours été remarquables
organisation et, partant, leur é
rencontré un esprit plus persp




E . BIBL . RADCL.
1867 e 229





GUIDE
DU SONDEUR

Paris. — Typ. P.-A. Bourdier et Cie, rue Mazarine, 30.

GUIDE
DU SONDEUR

OU

TRAITÉ THÉORIQUE ET PRATIQUE
DES SONDAGES

PAR

MM. DEGOUSÉE ET CH. LAURENT

Ingénieurs civils, fabricants d'équipages de sonde, entrepreneurs de sondages pour les puits artésiens, les desséchements, la recherche des mines, l'étude des chemins de fer et canaux.

OUVRAGE ACCOMPAGNÉ D'UN GRAND NOMBRE DE FIGURES DANS LE TEXTE

Et d'un Atlas.

DEUXIÈME ÉDITION

REVUE, CORRIGÉE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE.

TOME PREMIER

PARIS

GARNIER FRÈRES, LIBRAIRES-ÉDITEURS

6, RUE DES SAINTS-PÈRES, ET PALAIS-ROYAL, 215

1861



AVIS DES ÉDITEURS

La première édition de ce livre étant complétement épuisée, on en désirait depuis longtemps une seconde qui fût au niveau de la science, et où l'état actuel de cette industrie fût exactement indiqué. C'est pour répondre à ce besoin que l'auteur a dû songer à refondre son travail primitif et à l'augmenter de tous les développements que les progrès de l'art et les nouvelles applications ont rendus nécessaires. Dans ce but, l'auteur, M. Degousée, s'est adjoint comme collaborateur son gendre et associé, M. Ch. Laurent, connu par les perfectionnements qu'il n'a cessé d'introduire avec succès, depuis seize ans, dans l'outillage et dans l'art du sondeur.

Les additions et améliorations essentielles dont cette édition est enrichie font de ce livre, tel qu'il est aujourd'hui, un traité complet sur la matière.

Le nombre des planches de l'atlas est presque doublé,

et les nombreuses explications ajoutées au texte, les descriptions nouvelles, les développements nécessaires ont porté l'ouvrage à deux volumes.

Sous cette forme, le livre, maintenant complet, semble destiné à devenir classique dans sa spécialité.

AVANT-PROPOS

Depuis que l'art des sondages, prophétisé au seizième siècle par Bernard Palissy, est entré, grâce à l'heureuse impulsion donnée en 1818 par la Société d'encouragement, dans cette voie de progrès qu'il a si rapidement parcourue, de nombreux ouvrages ont été publiés pour seconder son essor, éclairer sa théorie, constater ses perfectionnements et populariser les procédés qui lui sont propres.

Dès l'année 1821, M. Garnier, alors ingénieur des mines, en résidence à Arras, fit connaître son *Traité des puits artésiens*. Ce livre, qui pouvait être considéré à cette époque comme un manuel complet de l'art du fontainier, obtint le premier prix au concours ouvert par la Société d'encouragement, et fut tiré à 2,000 exemplaires par ordre du ministre de l'intérieur, aux frais de l'État; il fut réédité plusieurs fois, et justifia son succès par les services qu'il rendit à cette industrie naissante.

En 1822, MM. Cuvier et Brongniart publièrent la description géologique des environs de Paris, et cet ouvrage, complété, rectifié en plusieurs points par les travaux exécutés ultérieurement par M. de Senarmont pour les dépar-

tements de la Seine, de Seine-et-Oise, de Seine-et-Marne, et par M. d'Archiac, pour celui de l'Aisne, n'a pas cessé de servir de guide pour la recherche des eaux artésiennes dans le bassin de Paris.

En 1828, M. le vicomte Héricart de Thury, qui avait le premier appelé l'attention publique sur l'emploi de la sonde, rédigea, au nom de la Société d'agriculture, un programme du concours ouvert par cette Société, afin de favoriser les développements de l'art des forages et son application générale en France. Le savant auteur inséra dans ce programme des coupes générales du sol de notre pays, en indiquant les terrains où l'on pouvait, avec des chances de succès, rechercher des eaux jaillissantes.

En 1829, M. de Thury présenta aux ingénieurs des considérations nouvelles sur les conditions les plus favorables aux sondages artésiens, et il leur recommanda la comparaison importante de l'altitude du point où ils opéraient avec celle de l'affleurement des couches qu'ils avaient à traverser. L'illustre académicien donna, en outre, l'historique des travaux de ce genre qui avaient été exécutés avec succès, à cette époque, dans plusieurs départements.

La même année, MM. Flachat, qui venaient d'amener avec un succès éclatant, au-dessus de la plaine de Saint-Ouen, des eaux jaillissantes de la base des terrains tertiaires, firent connaître les modifications importantes qu'ils avaient fait subir aux appareils de sonde, et les sondeurs s'empressèrent d'adopter une partie de ces nouveaux procédés, que les immenses progrès faits depuis cette époque dans l'art des sondages n'ont pas fait entièrement oublier.

En 1830, l'un de nous (M. Degousée) avait le bonheur

de traverser le premier la craie à Tours, et de trouver, dans les sables verts, des eaux jaillissantes qui confirmaient d'une manière éclatante les prévisions scientifiques. Plus tard, M. Desjardins publia une description intéressante du sol de la Touraine.

En 1833 parut un mémoire de M. Burat, contenant des notions générales de géologie appliquée à la recherche des eaux souterraines, et le résumé des sondages exécutés alors dans les diverses formations.

Les beaux résultats obtenus déjà à l'aide de la sonde, et l'extension si rapide que prenait l'art des sondages entre les mains de quelques ingénieurs, appelaient de ce côté l'attention des savants, lorsque l'illustre Arago inséra dans l'*Annuaire du bureau des longitudes*, pour l'année 1835, une de ces belles notices où il savait faire parler la science dans un langage si clair, et la mettre à la portée de tous, sans rien sacrifier de sa rigueur. Dans ce travail, qui donna une impulsion nouvelle aux sondages, Arago résuma l'histoire des puits artésiens, l'enrichit d'une multitude de faits nouveaux et intéressants, et posa d'une manière nette et précise la théorie réelle des eaux jaillissantes.

M. Viollet a publié en 1840 une théorie des puits artésiens qui a éclairci plusieurs questions restées douteuses.

Dans son Traité, publié en 1844, *sur la géologie appliquée au traitement des minéraux utiles*, M. A. Burat a consacré un chapitre spécial à la description des outils qui se trouvaient alors dans nos ateliers, et son *Traité sur les gîtes métallifères* est encore un de ces livres où les sondeurs pourront puiser des indications utiles.

M. Combes, ingénieur en chef des mines, publia, la

même année, son cours d'exploitation. Cet ouvrage renferme les descriptions et les dessins des équipages de sondes employés à cette époque, tant en France qu'à l'étranger.

A ces nombreux ouvrages, parmi lesquels le grand travail de MM. Élie de Beaumont et Dufresnoy sur la carte géologique de France occupe un rang éminent, il faut encore ajouter les comptes rendus des travaux des ingénieurs des mines, qui présentent une statistique aussi complète que possible des richesses minéralogiques de nos départements. C'est ici que se placent les beaux travaux faits par MM. Sauvage et Buvignier pour les Ardennes, Thirion pour la Haute-Saône, de Senarmont pour les départements de la Seine, de Seine-et-Oise et de Seine-et-Marne; Blavier pour la Mayenne, Hérault pour le Calvados, Laynières pour l'Aube, Triger pour la Sarthe, d'Archiac pour l'Aisne, Manès pour Saône-et-Loire, Jacquot pour la Moselle, etc., etc.

On voit, d'après ce résumé rapide des travaux publiés dans l'intérêt direct ou indirect de l'art des sondages, que les auteurs ne lui ont pas manqué pour favoriser et enregistrer ses progrès; mais ces derniers ont été si nombreux et si rapides, qu'ils ont successivement rendu insuffisants les livres qu'on pouvait regarder comme les plus complets au moment de leur publication. Il en résultait que les entrepreneurs ou les propriétaires qui voulaient exécuter des sondages étaient forcés de compulser un grand nombre de livres, où les renseignements qu'ils cherchaient n'étaient donnés que d'une manière incomplète et accessoirement à de plus vastes sujets; si bien qu'après avoir dépouillé péniblement de volumineuses bibliothèques, ils étaient dans

la nécessité de recourir encore aux conseils de quelques ingénieurs voués à ce genre spécial de travaux.

Il y avait donc là une lacune dans nos ouvrages technologiques, qu'une première édition de ce livre essaya de combler, en réunissant les documents épars dans un grand nombre d'ouvrages, en les complétant sur plusieurs points, et en donnant pour la première fois les règles pour la manœuvre des outils, leur description détaillée, et les modifications qu'il convenait de leur faire subir suivant la nature des terrains à perforer.

Cette première édition est épuisée, et depuis son apparition la science du sondage a marché à grands pas. De très-grands perfectionnements ont été apportés aux anciennes méthodes; une foule de systèmes nouveaux ont été plus ou moins heureusement expérimentés, et de nombreux écrivains s'érigeant en docteurs de sondage se sont efforcés de les mettre à la portée des gens du monde. Malheureusement, des notions superficielles et peu étudiées de procédés chimériques furent ainsi présentées au public qui les accepta avec empressement. Des erreurs séduisantes, dictées par l'ignorance ou la passion, prirent une si grande consistance que ceux même qui, plus éclairés, auraient dû échapper au préjugé général, s'y laissant entraîner, les admirent et les répétèrent.

A la faveur de ces écrits, quelques-uns de ces procédés, aidés par le temps et l'argent qu'on leur a prodigués, auraient pu arriver à des résultats qui eussent justifié, tant bien que mal, leur supériorité si vantée sur les méthodes plus modestes qui continuent à être assez généralement employées.

Pour justifier le titre de ce manuel, qui est destiné à servir réellement de guide dans la pratique des sondages, il nous a fallu compulser un assez grand nombre de comptes rendus sur les travaux de cette industrie ; nous avons pu en tirer quelques descriptions justes et précieuses, surtout en ce qu'elles nous dégageaient de la responsabilité d'un travail que notre position industrielle rendait épineux. Nous avons dû élaguer cependant les appréciations personnelles des auteurs, parce que, ne les approuvant pas toujours, nous eussions été obligés de les réfuter, et que ces observations que nous avons pu faire pour nous, en marge de leurs écrits, eussent été désobligeantes par leur forme même et leur introduction dans ce manuel.

Nous espérons qu'une maison qui compte aujourd'hui trente-deux années d'une prospérité croissante est, par ce fait même, à l'abri du soupçon de jalousie, et qu'il lui suffirait d'ailleurs pour se justifier d'en appeler aux témoignages qu'elle pourrait fournir ; ce livre même prouve suffisamment que loin de vouloir monopoliser l'industrie du sondage elle cherche au contraire à la populariser.

Nous avons consacré les premières pages de ce traité à une exposition sommaire des éléments de la théorie et de l'histoire du sondage. Dans cette introduction, en quelque sorte nécessaire, nous nous sommes efforcés, tout en étant brefs, de n'omettre aucun point essentiel. Il est inutile d'avertir que ce résumé rapide des principes théoriques, qui servent de base à l'art du sondeur, ne saurait dispenser ceux qui veulent l'exercer de l'étude approfondie des sciences spéciales auxquelles nous avons dû les emprunter. Cela est surtout vrai en ce qui concerne les études géologiques ; nous

ne pouvions, sur cette matière, être assez étendus sans sortir du but spécial de cet ouvrage. Le précis de cette science est plutôt destiné à servir de premier échelon à ceux qui l'ignorent complétement et veulent l'apprendre, que de guide suffisant pour les hautes applications que l'on peut avoir à en faire. Tel qu'il est cependant, nous espérons qu'il servira quelquefois d'aide-mémoire, et les dessins de fossiles éveilleront l'attention de ceux qui se proposent de faire ou font des recherches sur l'importance de ces débris organiques comme indication des terrains qu'ils explorent.

Un chapitre spécial résume les connaissances indispensables à un directeur de sondages.

Nous donnons ensuite des exemples des différentes applications de la sonde.

Un autre chapitre est consacré à la description des principaux instruments de précision employés pour l'étude du pays où l'on veut opérer des recherches d'eau ou de mines. L'usage de ces instruments est fréquent et indispensable dans les sondages, pour bien se rendre compte des travaux faits ou à faire. C'est au regrettable colonel du génie Leblanc et au savant physicien M. Walferdin que nous sommes redevables des perfectionnements qui mettent à même d'en tirer de prompts résultats. C'est sous leur direction que nous en avons fait les premières applications.

Enfin, pour terminer le premier volume, nous avons cru devoir ajouter la publication des lois et ordonnances qu'il est indispensable de connaître pour éviter des difficultés dans le cours des travaux, et apprécier les res-

trictions ou les facilités que les sondeurs pourront rencontrer pour profiter des résultats obtenus.

Le second volume est d'abord consacré à la description des différents systèmes de sondages qui ont été employés avec plus ou moins de succès.

Nous donnons ensuite, dans la première partie du huitième chapitre, la description de tous les outils et la composition des différentes sondes que nous mettons en usage, depuis la plus petite, la sonde d'exploration, jusqu'à celle qui doit être mue par une machine à vapeur.

Pour les grandes profondeurs, nous indiquons les appareils à chute libre de M. Kind, en prenant pour type son grand sondage de Passy, et immédiatement après nous donnons la description et la manœuvre de ceux que nous employons depuis huit années. Nous avons fait suivre cette partie de quelques procédés qui pourraient être tentés en sondage, mais que nous regardons comme des utopies qu'un sondeur ne doit mettre en pratique qu'à titre d'essai. Nous n'avons eu qu'un but en les publiant, c'est d'établir que des hommes pratiques peuvent rêver de nouvelles méthodes, mais s'arrêter aux études lorsque leur expérience leur fait découvrir cette série d'inconvénients qui échappent aux personnes étrangères au métier.

Nous exposons un peu longuement la manière de réparer les accidents, et la deuxième partie du chapitre huitième est tout entière consacrée aux différentes méthodes de tuber. Nos idées sur le diamètre à donner aux colonnes d'ascension, lorsqu'il s'agit d'amener des eaux jaillissantes au sol, sont en désaccord avec celles qui ont prévalu pour le puits que l'on fore en ce moment à Passy ; nous avions espéré que ce

travail, s'il avait été terminé avant la publication de ce livre, nous aurait mis à même de rétracter ou de confirmer notre opinion à ce sujet.

Après toutes les tentatives de forage à grand diamètre qui ont été faites pour remplacer, dans certains cas, les moyens habituels de fonçage des puits de mines, il nous a paru nécessaire d'ajouter un chapitre sur ce sujet.

Un relevé des résultats obtenus par la sonde, sur un certain nombre de points, indique combien peuvent être multipliées les applications d'un art si utile.

Nous n'avons cru devoir reculer devant aucun détail; plus de 1,500 coups de sonde donnés pour servir à l'exploration du sol nous ont mis à même de connaître toutes les circonstances qui peuvent se présenter dans le travail du sondeur. En nous attachant à publier les méthodes aujourd'hui en usage, nous avons mentionné celles qu'on employait auparavant, et nous indiquons leurs divers perfectionnements. Nous espérons ainsi éviter aux personnes qui voudront se livrer à cette industrie les expériences coûteuses par lesquelles nous avons dû passer, leur fournir les moyens d'utiliser les travaux interrompus, en réparant les accidents résultant de la rupture des outils, de l'éboulement ou du resserrement du terrain, de la déviation du trou de sonde et de la détérioration des tuyaux de retenue, les prémunir enfin contre les pertes de temps et d'argent qui découragent trop souvent, et font renoncer à des travaux auxquels il ne manque, pour donner une large compensation aux sacrifices déjà faits, que d'avoir été menés à fin.

Il nous a semblé nécessaire d'entrer dans des explica-

tions qui sembleront surabondantes à certaines personnes, mais que les travailleurs apprécieront lorsqu'ils seront dans l'embarras.

Enfin, dans un appendice, nous donnons quelques avis qui seront utiles aux personnes étrangères aux sondages, et qui veulent se procurer les moyens d'en pratiquer. Nous terminons cette note par quelques mots sur la baguette divinatoire et ses adeptes, et tâchons de faire comprendre que cet instrument est une échelle commode dont se sert avec un certain charlatanisme la médiocrité ambitieuse de gens qui s'intitulent hydroscopes. Il est bien entendu que nous sommes loin de ranger dans cette catégorie ceux qui, comme l'abbé Paramelle surtout, écartent ces manœuvres puériles, et dont la science s'appuie sur une longue observation et sur un savoir réel. Nous n'eussions jamais songé à dire un mot sur ce sujet, si la science plus que douteuse de l'un de ces hydroscopes n'avait été bien coûteusement expérimentée en Afrique et en France. Il est inutile de dire que le succès a été nul, et les amateurs du merveilleux bien désappointés.

Nous terminons par une note sur les différents modes de traiter pour l'entreprise des forages et les ventes de sondes.

GUIDE
DU SONDEUR

CHAPITRE PREMIER

PRÉCIS HISTORIQUE ET THÉORIQUE

De l'Art des Sondages.

« Un des hommes qui ont eu l'honneur d'inaugurer le
« mouvement scientifique et industriel des temps modernes,
« un potier de terre, qui ne savait ni latin ni grec, fut le pre-
« mier, dit Fontenelle, qui, vers la fin du XVI[e] siècle, osa dire
« dans Paris et à la face de tous les docteurs, que les co-
« quilles fossiles étaient de véritables coquilles déposées autre-
« fois par la mer dans les lieux où elles se trouvaient alors;
« que des animaux, et surtout des poissons, avaient donné
« aux pierres figurées toutes leurs différentes figures; et
« il défia hardiment toute l'école d'Aristote d'attaquer ses
« preuves [1]. »

« Ce potier de terre, qui *défia toute l'école d'Aristote*, était
« Bernard Palissy, *aussi grand physicien que la nature seule*

[1] *Hist. de l'Acad. des sciences*, année 1720, page 5.

« *en puisse former un*[1]; *et*, comme parle un écrivain de son « temps, *homme d'un esprit merveilleusement prompt et* « *aigu*[2]. »

Cet homme, dit Venel, qui n'était qu'un simple ouvrier sans lettres, montre, dans ses différents ouvrages, un génie observateur, accompagné de tant de sagacité et d'une méditation si féconde sur ses observations, une dialectique si peu commune, une imagination si heureuse, un sens si droit, des vues si lumineuses, que les gens les plus formés par l'étude peuvent lui envier le degré de lumière où il est parvenu sans ce secours, et cette tournure d'esprit qui l'a fait réfléchir avec succès.... La forme même de ses ouvrages annonce un génie original. Ce sont des dialogues entre *Théorique* et *Pratique ;* et c'est toujours *Pratique* qui instruit *Théorique*, écolière fort ignorante, fort indocile et fort abondante en son sens[3].

C'est dans un de ses dialogues qu'il exposait ainsi l'art des sondages :

« Pratique. Si je voulais trouver de la marne en quelque « province où l'invention ne fût encore connue, je voudrais « chercher toutes les terrières desquelles les potiers, brique- « tiers et tuiliers se servent en leurs œuvres, et de chacune « terrière, j'en voudrais fumer une portion de mon champ ; « puis je voudrais avoir une tarière bien longue, laquelle ta- « rière aurait au bout de derrière une douille creuse, en la- « quelle je planterais un bâton, auquel il y aurait par l'autre « bout un manche au travers, en forme de tarière, et ce

[1] Expressions de Fontenelle, *ibid.*, page 6.

[2] Lacroix du Maine, *Bibliothèque, etc.*, 1584.

[3] Venel, article *Chimie* de l'Encyclopédie.

« fait, j'irais par tous les fossés de mon héritage, auxquels
« je planterais ma tarière jusques à la longueur de tout le
« manche, et l'ayant tirée dehors du trou, je regarderais
« dans la concavité de quelle sorte de terre elle aurait ap-
« porté, et l'ayant nettoyée, j'ôterais le premier manche et en
« mettrais un beaucoup plus long, et remettrais la tarière dans
« le trou que j'aurais fait premièrement, et percerais la terre
« plus profond ; et par tel moyen ayant plusieurs manches de
« diverses longueurs, l'on pourrait savoir quelles sont les
« terres profondes, et non-seulement voudrais-je fouiller dans
« les fossés de mes héritages, mais aussi par toutes les parties
« de mes champs, jusqu'à ce que j'eusse apporté au bout de
« ma tarière quelque témoignage de ladite marne, et ayant
« trouvé quelque apparence, lors je voudrais faire, en icelui
« endroit, une fosse telle comme qui voudrait faire un puits.

« Théorique. Voire, mais s'il y avait du roc au-dessous de
« ces terres, comme l'on voit en plusieurs contrées que toutes
« les terres sont foncées de rochers ?

« Pratique. A la vérité cela serait fâcheux ; toutefois en plu-
« sieurs lieux les pierres sont fort tendres, et singulièrement
« quand elles sont encore en la terre : pourquoi me semble
« qu'une torsière les percerait aisément, et après la torsière on
« pourrait mettre l'autre tarière, et par tel moyen on pourrait
« trouver des terres de marne, voire des eaux pour faire puits,
« lesquelles bien souvent pourraient monter plus haut que le
« lieu où la pointe de la tarière les aura trouvées : et cela se
« pourra faire moyennant qu'elles viennent de plus haut que
» le fond du trou que tu auras fait.

« Théorique. Je trouve fort étrange ce que tu me dis, que
« si le roc m'empêche de percer la terre, qu'il faut aussi percer

» le roc ; et si c'est du roc, qu'ai-je faire de le percer, vu que
« je cherche de la marne ?

« Pratique. Tu as mal entendu, car nous savons qu'en plu-
« sieurs lieux les terres sont faites par divers bancs, et en les
« fossoyant on trouve quelquefois un banc de terre, un autre
« de sable, un autre de pierre et un autre de terre argileuse. »

Dans ce dialogue, où se révèle le génie naïf et lumineux de Bernard Palissy, sont exposés pour la première fois d'une manière rationnelle les usages de la sonde, et, comme il convenait à cette époque, c'est *Pratique* qui parle et donne des leçons à *Théorique*.

En effet, c'est la pratique qui, dès l'antiquité la plus reculée, a suggéré aux hommes l'idée de cet outil si remarquable, à l'aide duquel ils peuvent percer l'écorce terrestre, ramener à la surface du sol des échantillons des minéraux enfouis dans ses profondeurs, et mettre en rapport les couches géologiques de divers étages. C'est la pratique qui a fait naître et a conservé jusqu'à nous, chez plusieurs peuples, l'art singulier des sondages artésiens ; c'est elle qui a creusé en Chine, en Syrie, en Égypte, au Sahara algérien, dans la haute Italie et dans notre ancienne province de l'Artois, ces fontaines artificielles qui n'ont pas cessé de couler depuis plusieurs siècles ; c'est à elle que rendaient hommage les citoyens de Modène, lorsqu'ils plaçaient sur l'écusson de leur ville ces deux tarières de fontainier que nous y voyons encore ; c'est elle enfin qui dictait à Palissy les lignes que l'on vient de lire.

Mais si l'illustre ingénieur revenait aujourd'hui, et qu'il mît de nouveau en présence les deux interlocuteurs qu'il faisait conférer autrefois, c'est à *Théorique* assurément qu'il donnerait d'abord la parole. En effet, si la théorie s'est laissé de-

vancer par la pratique dans l'invention de la sonde, elle a su depuis reprendre le premier rang, et notre siècle lui doit l'honneur d'avoir inventé une seconde fois, ou pour mieux dire, créé véritablement l'art des sondages. C'est elle qui, en décrétant les lois de l'hydraulique, en constituant la météorologie, en découvrant les formes caractéristiques de l'écorce terrestre, a expliqué des phénomènes qu'on produisait au hasard, a généralisé des procédés qui restaient confinés dans des cantons isolés, a fait succéder une activité prévoyante à de timides tâtonnements, a fait passer la sonde des mains des ouvriers à celles des ingénieurs, et a élevé ainsi une routine locale, aveugle, incertaine, à la dignité d'un art véritable, d'un art universel, rationnel, sûr de lui-même.

Cette transformation s'est accomplie sous nos yeux avec une rapidité singulière, et c'est à notre pays qu'en revient tout l'honneur. Il y a trente ans à peine, la sonde était encore ce que l'avaient faite, par une longue pratique, les fontainiers de l'Artois et de l'Italie, et son usage, loin de se propager dans les autres pays, semblait plutôt tomber en oubli dans ceux où il avait pris naissance, lorsque des sociétés instituées à Paris pour encourager l'agriculture et l'industrie entreprirent de développer un art si utile et si négligé. La question fut mise au concours; d'illustres savants s'associèrent à cette idée en rédigeant des programmes et des instructions théoriques; des ingénieurs habiles se mirent à l'œuvre, et bientôt l'usage de la sonde était répandu en France, chez tous les peuples de l'Europe, jusqu'en Afrique, et même dans le nouveau monde.

Cette vive impulsion donnée par la théorie à l'art du sondage a réagi d'une manière puissante sur la pratique : dans ces forages exécutés sur tant de points éloignés et dans des circons-

tances si diverses, des conditions nouvelles ont apparu, des accidents imprévus se sont produits et ont conduit à varier la forme des instruments ainsi que leurs manœuvres ; chaque fois que la sonde, après avoir percé un nouveau point de l'écorce terrestre, remontait à la surface, c'était pour subir quelque perfectionnement nouveau : ainsi l'humble tarière, que Palissy se proposait de *planter dans les fossés de son héritage*, s'est convertie peu à peu en un instrument admirable, approprié aux conditions les plus diverses ; sa tige a pris des dimensions gigantesques ; et, au bout de ce manche long de plusieurs centaines de mètres, on a pu limer ou couper des tubes, former des vis, saisir des outils perdus, découper des colonnes en plein terrain, accomplir enfin des travaux aussi compliqués que ceux que le forgeron et le chaudronnier exécutent sur leur enclume.

Au moment de résumer, pour la seconde fois, dans un manuel complet et méthodique, l'ensemble de ces perfectionnements, avant de décrire l'outillage et les engins dont les sondeurs se servent aujourd'hui et les procédés qu'ils doivent suivre, il convient sans doute de réserver à la théorie les premières pages de ce livre. Tel est l'objet de ce premier chapitre, dans lequel nous exposerons les principes qui servent de base à l'art du sondeur, et nous retracerons à grands traits l'histoire des systèmes par lesquels a passé l'esprit humain pour prendre possession de ces principes.

La circulation des eaux à la surface de la terre, ce vaste roulement par lequel les sources, incessamment renouvelées, versent dans les fleuves des masses énormes qui s'écoulent avec tant de régularité et retournent incessamment à la mer, est un des phénomènes les plus grandioses que la nature offre à notre

admiration et à notre étude. Devant cet imposant spectacle, les hommes ont été d'abord saisis d'une admiration craintive, et d'une sorte d'horreur religieuse. C'est ce sentiment qui a peuplé le bord des fleuves et des fontaines de cette foule de divinités auxquelles sacrifiait la superstition, et le poëte des Géorgiques s'en est fait l'interprète dans ces beaux vers où il nous montre le pâtre, fils d'Apollon et de Cyrène, admis à visiter le séjour souterrain de sa mère :

> Jamque domum mirans genitricis et humida regna,
> Speluncisque lacus clausos, lucosque sonantes,
> Ibat, et, ingenti motu stupefactus aquarum,
> Omnia sub magnâ labentia flumina terrâ
> Spectabat diversa locis[1]. . . . . . .

Ainsi le double culte de la poésie et de la religion a été le premier hommage rendu par les hommes à ce grand ouvrage de la nature; mais ce premier sentiment satisfait, un autre s'est éveillé, et l'on a cherché à expliquer ce qu'on admirait tout à l'heure. L'imagination s'est d'abord mise en quête de systèmes plus ou moins ingénieux ou extravagants; puis l'observation a apporté des modifications de plus en plus précises, et l'on a vu se dérouler cette longue suite d'hypothèses qui nous ont conduits à la théorie rationnelle que nous possédons aujourd'hui.

[1] . . . . « Il s'étonne, il admire
« Le palais de sa mère et son liquide empire;
« Il écoute le bruit des flots retentissants,
« Contemple le berceau de cent fleuves naissants,
« Qui, sortant en grondant de leurs grottes profondes,
« Promènent en cent lieux leur course vagabonde. »

D'où provient l'eau qui circule à la surface des continents et dans l'intérieur du sol ? Par quel mode d'approvisionnement l'eau vient-elle sans cesse alimenter les réservoirs souterrains ? Enfin, par quelle force est-elle poussée vers la surface dans le bassin des fontaines et dans le lit des fleuves ? Telles sont les questions qui rentrent dans le problème général de l'aménagement naturel des eaux douces, et qui se rapportent, comme on voit, à trois points principaux.

Le premier est relatif à l'origine des eaux, le second à la disposition des voies souterraines, ou, pour ainsi parler, des récipients solides dans lesquels elles sont versées, et le troisième aux forces en vertu desquelles les eaux, amenées dans ces récipients, s'y meuvent et s'y distribuent.

Sans s'arrêter à ces divisions naturelles du problème, les premiers auteurs de systèmes, l'embrassant dans son ensemble, l'ont résolu d'un seul coup, et, en quelque sorte, par un seul bond de leur imagination en travail.

Ainsi Platon, résumant l'opinion de la plupart des philosophes grecs, nous apprend que le réservoir commun des sources est... le *gouffre du Tartare*. Voilà pour l'approvisionnement, et, quant à la distribution, il nous assure que c'est *par cascades* que les eaux arrivent à la surface du sol.

Aristote professe une autre doctrine, et saint Thomas, avec toute la philosophie scolastique, se range à l'opinion du maître de l'école ; dans ce système on n'a que faire du Tartare ni d'aucun autre réservoir ; l'eau se forme dans l'intérieur même du sol en vertu du fameux principe de la transmutation des corps, dont l'alchimie a fait un si grand usage. C'est l'air qui, en séjournant dans la terre, s'y épaissit et se change en eau. Pour mettre cette eau en mouvement, on avait recours à une

autre hypothèse également familière à l'ancienne physique, celle des causes occultes. Pour les uns, c'est *l'ascendant des astres ;* pour d'autres, c'est *la propriété vivifiante du sable pur*, d'où résulte la circulation *de la mer visible dans une mer invisible,* que Van-Helmont s'efforce de prouver par des textes de la Bible ; c'est encore *la force de projection.... la force expansive.... la force vitale* de la plante : en résumé, l'eau monte parce qu'elle a une vertu ascensionnelle qui la porte à monter [1].

Ce mode d'explication a paru longtemps satisfaisant, et nous avons vu même des écrivains contemporains le renouveler en le revêtant de formes scientifiques ou métaphysiques. Dans un livre publié en 1826 sur les sondages artésiens, et où se trouvent des renseignements utiles, un ingénieur américain, M. Dickson, a proposé une *nouvelle théorie de l'ascension des eaux*, d'après laquelle les eaux souterraines sont rejetées à la surface par une force expansive résultant de la chaleur centrale et *indépendante de toute action gravitante.* Quelques années plus tard, un philosophe, M. Azaïs, ressuscitant à la fois le principe de la transmutation et celui de l'expansion, s'en servait pour expliquer le jaillissement des eaux artésiennes : « Tout corps, disait-il, qui recèle dans ses parties centrales un foyer d'expansion, cerné par des enveloppes plus ou moins épaisses, est un corps en état de ressort, ce qui veut dire en

[1] Cette formule est celle qui se représente si souvent dans les spéculations de l'ancienne physique ; c'est elle que Pascal ne dédaignait pas de discuter, lorsque le père Noël l'appliquait à la définition de la lumière, en disant que *la lumière est un mouvement luminaire de rayons lumineux :* c'est elle enfin que Molière ne faisait que transporter du livre le plus grave sur la scène, lorsqu'il expliquait pourquoi l'opium fait dormir.

état d'effort continu contre la résistance de ses enveloppes. Il travaille sans cesse à les écarter, à les briser, à les dissoudre, et, ne pouvant y parvenir, il exerce du moins son action expansive sur les substances intérieures ; il les agite, les divise, les atténue et les projette autant qu'il lui est possible à travers les pores des enveloppes extérieures ; cette action de *ressort* et de *transpiration* est dans la nature l'action première et essentielle. »

Après avoir distingué trois espèces de transpiration : la transpiration *vitale*, qui émane des régions centrales de notre planète et lance par voie de rayonnement les fluides subtils, tels que le calorique, le magnétisme et l'électricité ; la transpiration *moyenne*, qui émane des régions intermédiaires, et projette sous forme vague et demi-impétueuse les gaz dont se compose l'atmosphère ; la transpiration *faible* ou *indolente*, qui émane des couches superficielles en produisant une molle *transsudation* sous forme aqueuse, M. Azaïs assurait que, semblable à notre sang qui s'exhale en sueur ou jaillit sous le coup de la lancette, l'eau intérieure jaillit sous le coup de sonde, en obéissant au principe universel de l'*expansion*.

A la suite de ces deux systèmes s'en présente un troisième auquel se rattache le grand nom de Descartes. Cette fois la mer est le réservoir où s'alimentent directement les sources : les eaux de l'Océan pénètrent dans l'intérieur des terres par des cavernes qui leur offrent des aqueducs naturels ; elles s'insinuent par infiltration et viennent remplir de grandes cavités placées sous les montagnes pour servir à la dépense des fontaines. Ce premier point admis, reste à expliquer d'abord comment les eaux parviennent sous les montagnes et s'y élèvent beaucoup au-dessus du niveau de l'Océan, ensuite comment

dans le trajet souterrain elles perdent leur salure et se convertissent en eaux douces. Pour rendre compte de ces deux faits à la fois, on a le choix entre deux hypothèses. Dans la première, les eaux marines subissent, dans les cavernes souterraines, l'action du feu central qui les réduit en vapeur et les fait monter dans le corps de la montagne comme dans le chapiteau d'un alambic; ainsi distillée, l'eau dépose ses sels au fond de ces grandes chaudières, et la vapeur, parvenue à une certaine hauteur, se condense par le refroidissement et surgit à la surface du sol : « Les eaux, dit Descartes, pénètrent par « des conduits souterrains jusques au-dessous des montagnes, « d'où la chaleur qui est dans la terre, les élevant, comme en « vapeur, jusqu'à leur sommet, elles y vont remplir les sources « des fontaines et des rivières. » Dans cette première hypothèse la terre est considérée comme un alambic; dans la seconde, développée par l'académicien La Hire en 1703, elle est conçue comme un filtre qui retient le sel marin et fait monter l'eau douce par l'action capillaire, comme dans un morceau de sucre qui trempe par un seul point dans un verre d'eau.

Cet échafaudage compliqué, à la construction duquel l'imagination encore mal disciplinée des physiciens avait eu trop de part, offrait cependant quelque accès à l'esprit d'analyse et d'observation ; aussi la critique du dix-huitième siècle ne tarda pas à y pénétrer, le battit en brèche et le renversa de fond en comble.

« La supposition par laquelle la mer est amenée sous toute la surface des continents est purement gratuite, dirent les adversaires de ce système. De plus, elle est démentie par les faits : on connaît des puits sans eau et dont le fond est cependant

plus bas que la prétendue nappe d'eau souterraine ; il y a même des plaines dont la surface est inférieure au niveau de la mer et qui ne sont pas inondées, comme cela devrait être si la mer, par une infiltration séculaire, pénétrait indéfiniment dans l'intérieur des terres. Cette supposition ne rend pas compte des variations considérables qu'on remarque dans le débit des sources. La chaleur nécessaire pour distiller l'énorme quantité d'eau douce qui surgit du sol n'est nullement en rapport avec celle qu'on observe dans les souterrains où cette opération est censée se faire. Une aussi grande masse de vapeurs ne saurait trouver place dans les cavités souterraines, quelque vastes qu'on les suppose, et devrait produire dans le sol des agitations qui ne se font point sentir. Les sources devraient être plus abondantes sur le bord de la mer que dans l'intérieur des terres, dans les plaines que sur les montagnes, et l'observation nous montre précisément le contraire. La capillarité peut bien, dans des terres poreuses, élever l'eau à une hauteur de quelques pieds, mais elle ne lui fera jamais franchir des différences de niveau très-considérables. La quantité prodigieuse de sels que la mer a dû déposer, soit par distillation, soit par filtration dans le sol, aurait dû, en modifiant sensiblement sa salure, obstruer et combler depuis longtemps les canaux, les filtres et les alambics souterrains. Veut-on avoir une idée de ce résultat, calculons, et l'arithmétique consultée nous dispensera de discuter davantage. L'eau de la mer contient une proportion de sel égale au trente-septième de son poids, soit, pour compter au plus bas, 27 kilogrammes de sel pour 1 mètre cube d'eau marine ; or il passe sous le Pont-Royal plus de 10 millions de mètres cubes d'eau en vingt-quatre heures ; ce volume d'eau aura donc déposé sous terre 270 mil-

lions de kilogrammes de sels ; en réduisant ce produit de la moitié pour tenir compte de l'eau pluviale qui entre dans la Seine, nous trouvons que l'eau qui passe de l'Océan dans le lit de la Seine dépose chaque jour dans les entrailles de la terre 135 millions de kilogrammes de sel, et plus de 50 milliards de kilogrammes dans l'année ; mais qu'est-ce que la Seine comparée à toutes les rivières de l'Europe et enfin du monde entier? Quel amas de sel aura donc laissé dans les canaux souterrains la masse d'eau douce, qui se décharge dans la mer depuis tant de siècles!...... » — A cela il n'y avait rien à répondre, et personne n'essaya de le faire. Déjà la pensée du physicien s'était transportée sur un autre terrain ; mûrie par l'observation, instruite par ses erreurs mêmes, elle saisissait la vérité et l'enfermait dans un quatrième et dernier système.

Dans cette théorie définitive, les eaux puisées dans la mer et distillées par la chaleur solaire se répandent en vapeur dans l'atmosphère, retombent en pluie, en neige, en brouillard ou en rosée sur toute l'étendue des continents, restent en partie à leur surface dans les dépôts des glaciers, coulent en partie dans les couches perméables qui viennent en s'infléchissant, affleurer à la surface du sol, et là, poussées par leur propre poids, descendent, se meuvent et remontent comme dans nos siphons ; ainsi, comme un seul agent, la chaleur pourvoit à l'approvisionnement des eaux douces ; une seule force, la pesanteur, suffit aussi à leur distribution, et nous connaissons encore ici la majestueuse simplicité de la nature, toujours économe dans l'emploi des moyens et inépuisable dans la variété des résultats.

Comment une idée si simple, qui s'offrait naturellement à

l'esprit des anciens, que plusieurs, Vitruve entre autres, ont énoncée d'une manière formelle, n'a-t-elle pas été accueillie tout d'abord, c'est ce qu'il est facile d'expliquer avant d'aller plus loin. Si l'on considère successivement les trois éléments du problème relatifs à la météorologie, à la géologie et à l'hydrostatique, on reconnaît que sur chacun de ces points les premiers observateurs manquaient des données les plus essentielles et devaient être rejetés vers d'autres explications par des difficultés insurmontables.

L'évaporation est un phénomène qui se dérobe à nos sens et qui ne peut être mesuré que par les procédés les plus délicats de la physique pneumatique. Comment donc les premiers physiciens auraient-ils pu attribuer à cette cause, dont ils soupçonnaient à peine l'existence, ce prodigieux travail qui consiste à puiser dans la mer et à charrier sur les montagnes les masses d'eau qu'ils en voyaient descendre ? Il est vrai qu'en laissant de côté la question de l'origine première des eaux douces, et en se bornant à mesurer la quantité des eaux pluviales, ils auraient pu voir qu'elle suffit largement à l'entretien des sources ; mais cette opération udométrique ne pouvait guère se présenter à ces esprits peu observateurs, et d'ailleurs, l'eussent-ils exécutée, une seconde difficulté relative à la partie géologique du problème devait encore les détourner de la solution véritable.

En effet, il leur restait à comprendre comment les eaux pluviales, retenues à la surface du sol par les couches très-peu perméables qui la couvrent souvent sur de grandes étendues, peuvent former par-dessous des nappes larges et profondes. Cette énigme devait rester insoluble tant qu'on n'aurait pas remarqué que l'écorce terrestre est formée d'assises continues,

superposées, et dont quelques-unes vont en s'infléchissant rencontrer la surface, y boivent les eaux pluviales et les font couler ainsi à de grandes distances sous des couches imperméables. Or cette notion géologique, qui ne pouvait résulter que d'une longue suite d'observations, était entièrement étrangère aux anciens.

Enfin, il fallait encore comprendre comment les eaux descendues sous le sol remontaient d'elles-mêmes à la surface, et cette interversion apparente des lois de la pesanteur ne pouvait être expliquée que par des principes hydrostatiques dont la démonstration remonte au dix-septième siècle seulement.

Ainsi, l'idée la plus naturelle a dû longtemps sembler la plus invraisemblable, et toutes les ressources de la science la plus avancée ont été nécessaires pour placer la théorie de l'aménagement des eaux douces sur sa triple base physique, géologique et mécanique. Comment ce résultat a-t-il été définitivement atteint? C'est ce qu'il convient d'exposer maintenant.

Évaluer d'une part la quantité d'eau qui est puisée dans la mer par l'évaporation, de l'autre celle qui y entre par l'embouchure des fleuves, puis comparer les résultats de cette double mesure, voilà à quoi se réduit la discussion météorologique du problème. Si le premier nombre surpasse assez le second pour que l'excès suffise à représenter la quantité de pluie qui retombe directement dans la mer, celle qui retourne dans l'atmosphère sans entrer dans les fleuves et celle qui est consommée par les êtres organisés, il est clair qu'on ne devra plus chercher le moyen d'approvisionnement des fontaines ailleurs que dans les eaux pluviales, et qu'il restera seulement

à trouver les lois de leur distribution. Le jaugeage de quelques grands cours d'eau, des opérations udométriques exécutées en différents pays, et la mesure directe de l'évaporation marine fournissent les éléments de ce simple calcul que l'on peut instituer de diverses manières, soit qu'on embrasse la surface totale du globe, soit qu'on limite la question à une portion plus ou moins étendue de cette surface. Quelques exemples, empruntés à l'histoire de la physique, donneront une idée de la marche suivie dans cette discussion.

« Admettons, dit l'auteur d'une de ces thèses[1], que la mer couvre une moitié de la surface terrestre, l'autre moitié étant occupée par les continents et les îles, et partons de cette donnée expérimentale, établie par Halley, que l'eau de la mer abandonne, par jour, à l'évaporation un pouce cubique d'eau pour une surface de dix pouces carrés. Cela donne trente-trois millions de tonnes d'eau pour un degré carré, et pour la surface totale de la mer *quarante-sept mille milliards* de tonnes par jour. Maintenant quel est le débit quotidien des fleuves? Pour le supputer partons de celui du Pô, qui est, d'après des jaugeages exacts, quatre millions huit cent mille perches cubes. Pour passer de ce chiffre à celui qui convient à l'ensemble de tous les fleuves, admettons, ce qui est assez vraisemblable, que le débit de chaque grand cours d'eau est proportionnel à la surface de son bassin; le bassin du Pô est de 45,600 milles carrés d'Italie, étendue qui, comparée à la surface totale de la terre ferme, assigne au débit de tous les fleuves une valeur dix-huit cent quatorze fois plus considérable que celle que nous venons de donner au Pô; la mer re-

[1] Encyclopédie.

cevrait donc en un jour, de tous les fleuves de la terre, à peu près neuf milliards de perches cubiques, résultat extrêmement inférieur à celui qui exprimait l'évaporation marine.

Un calcul du même genre fut exécuté par Halley en considérant seulement le bassin de la Méditerranée. « Cette mer, dit il, reçoit cinq rivières considérables, l'Èbre, le Rhône, le Tibre, le Pô et le Nil. Admettons, pour tenir compte de tous les autres cours d'eau qui se déversent dans le même réservoir, que chacun des cinq fleuves principaux roule dix fois plus d'eau que la Tamise, le débit quotidien de ce fleuve est de vingt millions de tonnes ; la quantité d'eau douce versée chaque jour dans la Méditerranée sera donc de un milliard de tonnes. Or, cette quantité n'est que le cinquième de ce que la Méditerranée perd dans le même temps par l'évaporation. Ce grand réservoir marin serait donc bientôt à sec, si une grande partie des vapeurs qui s'en exhalent n'y retombaient directement, et si la mer Noire et l'Océan n'y versaient le surplus de leurs eaux, en produisant les courants observés dans les détroits de Gibraltar et des Dardanelles, et si des eaux infiltrées souterrainement sur les continents n'y avaient pas aussi leur embouchure. L'arithmétique, confirmant encore une fois la nouvelle théorie, venait donc en même temps rendre raison des observations de la géographie. Ce n'est pas que les nombreux calculs de ce genre, exécutés à diverses reprises et souvent avec trop de précipitation, n'aient quelquefois donné des résultats contradictoires. C'est ce qui arriva, par exemple, à Gualtieri lorsqu'il compara la quantité de pluie qui tombe en Italie avec le débit de ses fleuves. Réduisant la surface totale de la péninsule en un rectangle long de 600 milles et large de 120, il portait à 2,700 milliards de pieds cubes l'eau pluviale et il

égalait le produit des fleuves à celui d'un canal unique, large de 1,250 pieds sur 15 de profondeur, débitant annuellement 522 milliards de pieds cubes, ou plus du double de ce que fournirait la pluie dans le même temps. Mais on contesta justement à Gualtieri son évaluation udométrique qui ne montait qu'à 19 pouces, tandis que des mesures exactes donnaient plus de 40 pouces aux météorologistes de Pise et de Padoue; on lui demanda sur quel fondement il avait construit ce canal hypothétique, équivalant à la section totale des fleuves italiens; enfin le résultat anormal de son calcul servit seulement à établir qu'on n'arriverait à des chiffres concluants qu'à la condition d'opérer sur des données positives en élaguant les hypothèses et en restreignant le calcul à des localités peu étendues.

C'est ce que fit Mariotte en limitant la question, ainsi que l'avait proposé Perrault, au bassin de la Seine; et en comparant la quantité de pluie qui tombe annuellement sur la surface supérieure de ce bassin jusqu'à Paris avec la quantité d'eau qui passe sous le Pont-Royal, il trouva que le débit de la Seine ne donnait que la sixième partie de l'eau pluviale qui arrose la partie supérieure du bassin. Le calcul de Mariotte a été refait sur des données plus exactes par un ingénieur contemporain, M. Dausse, et en voici le résultat : Le bassin de la Seine (en le terminant à Paris) a 4,327,000 hectares de superficie; l'eau qui tombe dans ce bassin, si elle ne s'évaporait pas, si elle ne pénétrait pas dans le sol, si le terrain était partout horizontal, y formerait au bout de l'année une couche liquide de 53 centimètres de hauteur; il est facile de voir qu'une pareille couche composerait en volume 22,933 millions de mètres cubes d'eau. Or, au Pont-Royal le débit annuel de la Seine est de

8,042 millions de mètres cubes [1]. Ce dernier nombre est donc à peu près le tiers du premier. Ainsi le volume d'eau qui passe annuellement entre les quais de Paris n'est guère que le tiers de celui qui tombe en pluie dans la bassin supérieur. Deux tiers de cette pluie, ou retournent dans l'atmosphère par voie d'évaporation, ou se décomposent pour fournir à la vie organique les éléments qu'elle consomme, ou s'écoulent dans la mer par des communications souterraines.

Le calcul dont Mariotte avait donné l'exemple est applicable aux plus humbles fontaines comme aux plus grands fleuves; il n'exige, comme on le voit, que trois opérations fort simples, une mesure udométrique, un arpentage, un jaugeage, et il permet de comparer des nombres très-exacts; aussi a-t-il été repris, plusieurs fois, et toujours il a confirmé notre théorie en faisant évanouir les anomalies apparentes que des appréciations vagues avaient fait naître; c'est ce qui est arrivé, par exemple, toutes les fois qu'on a discuté avec précision une objection souvent avancée par les partisans de la théorie de Descartes et fondée sur l'existence de sources abondantes, placées, disait-on, au *sommet* même de quelques montagnes. Notre butte Montmartre a figuré dans cette polémique, et voici comment : il existait, sur cette colline, une fontaine qui n'était qu'à 16 mètres au-dessous du point culminant. L'eau pluviale, disait-on, ne peut alimenter constamment une source ainsi placée et il faut recourir à des vapeurs s'élevant du sein de la terre. Toute vérification faite, il se trouva, cependant, que la

[1] Par suite des travaux exécutés sur la Seine, le zéro du pont de la Tournelle ne peut plus servir de base pour les calculs sur le débit de la rivière. Aujourd'hui on considère que l'étiage qui lui correspond est situé à 0,57 cent. au-dessus du zéro de l'échelle du Pont-Royal.

portion de la butte supérieure à la fontaine, et qui pouvait conséquemment lui transmettre ses eaux par voie de simple écoulement intérieur, avait environ 585 mètres de long sur 195 de large. Or, le volume moyen de pluie qui tombe à Paris sur une pareille étendue de terrain, entre le premier janvier et le trente et un décembre, surpasse de beaucoup la quantité d'eau que débitait annuellement la petite source en question. La même difficulté se présenta et disparut aussi devant la mesure exacte à l'occasion d'une fontaine des environs de Dijon; là également, malgré les apparences, les eaux pluviales reçues sur la portion de terrain qui dominait la source pouvaient amplement suffire à son alimentation. Les derniers partisans de l'ancienne théorie ont cité encore le mont Ventoux, dans le département de Vaucluse, où il existe une source à 1,754 mètres d'élévation. Mais le sommet de la montagne est de 200 mètres plus élevé, et l'on expliquerait encore l'alimentation directe de cette source, si l'on comparait son débit à la quantité de pluie, de rosée et de neige qui tombe sur la partie supérieure de la montagne. Citons encore, pour clore ce chapitre, une source située près de la Cour de France, sur la route de Fontainebleau, et dont les eaux sont amenées à Paris par l'aqueduc d'Arcueil. La Hire portait à 50 pouces de fontainier le produit habituel de cette source, et suivant lui « l'espace de terre d'où l'eau peut venir n'est pas assez grand pour alimenter une semblable source en ramassant l'eau de la pluie, quand il ne s'en dissiperait point. » Cette assertion, n'étant accompagnée d'aucun calcul précis sur l'*espace de terre* et sur la pluie annuelle, rentre dans la classe des aperçus vagues dont la science ne doit tenir aucun compte. Au surplus, un fait semblable à celui que signalait La Hire pourrait se présenter sans que la

nouvelle théorie, fondée sur l'aménagement des eaux pluviales, en reçût aucune atteinte. En effet, rien n'empêcherait alors de concevoir, en recourant aux principes que nous allons exposer tout à l'heure, qu'une telle fontaine serait alimentée à la manière des puits artésiens, par des canaux souterrains ayant leur point de départ plus ou moins éloigné.

En résumé, la quantité qui, élevée par l'évaporation dans l'atmosphère, retombe, sous la forme de pluie, de neige, de grêle, de rosée et de brouillard, sur les continents, est plus que suffisante pour alimenter les cours d'eau qui circulent à leur surface ou dans les cavités intérieures. Cette conclusion si simple et si féconde, rapprochée des systèmes pénibles et compliqués qu'a successivement produits l'ancienne physique, présente une de ces leçons par lesquelles l'histoire des sciences humilie si souvent l'orgueil de notre esprit, et lui apprend qu'il ne peut rien savoir par lui-même des plans de la création; que, livré à ses seules ressources, il n'a nul accès vers la réalité; qu'enfin, pour connaître la nature, il doit se résoudre à l'interroger en recueillant, par l'observation, ce qu'elle-même veut bien nous laisser voir à travers ses voiles. Cet enseignement nous est donné ici d'une manière frappante : la solution du problème, que l'on a cherchée si longtemps en vain, dépendait de deux éléments relatifs, l'un à l'évaporation atmosphérique, l'autre à l'écoulement fluvial. De ces deux faits, le premier était regardé par les anciens comme tout à fait insignifiant; le second apparaissait, au contraire, à leur imagination sous des proportions si monstrueuses qu'ils ne trouvaient pas de mécanisme assez compliqué pour le produire. Or, c'est justement le contre-pied qu'il faut prendre; l'observation a fait voir que l'on se trompait doublement, et que le phénomène dont on ne

daignait seulement pas tenir compte surpassait de beaucoup celui dont on exagérait l'importance. Deux citations feront ressortir complétement cette double erreur. La première, empruntée à Leslie, rend sensible la force vraiment prodigieuse qui est mise en jeu dans la formation des nuages. Concevez, dit ce physicien, que l'eau qui s'évapore annuellement, au lieu de se disséminer dans l'atmosphère à toutes les hauteurs, s'élève et s'arrête tout entière à une certaine hauteur moyenne. L'évaporation annuelle se trouvera ainsi représentée, dans ses effets mécaniques, par une masse d'eau connue, élevée à une hauteur verticale également connue. Mais le travail de ce genre qu'un homme peut faire dans l'année a été déterminé; eh bien, la comparaison des deux résultats montre que l'évaporation représente le travail de 80 millions de millions d'hommes. Supposez que 800 millions d'hommes soit la population du globe; que la moitié seulement de ce nombre d'individus puisse travailler: la force employée par la nature dans la formation des nuages sera égale à deux cent mille fois le travail dont l'espèce humaine tout entière est capable. Voilà la force que déploie silencieusement la nature, tandis que la science humaine s'épuisait à chercher le chemin que suit l'eau de la mer pour remplir le bassin des fontaines. Et au moment où l'esprit de système passait à côté d'un si grand phénomène sans s'en apercevoir, veut-on savoir quelles proportions fantastiques on attribuait gratuitement à un phénomène bien plus modeste; qu'on ouvre la Géographie de Bernard Varenius, ouvrage qui a eu Newton pour éditeur et qui, à la fin du dix-septième siècle, servait de guide aux étudiants de l'université de Cambridge, on y lira: « Les rivières du « premier ordre produisent une si grande quantité d'eau que

« ce que chacune d'elles emporte à la mer en un an *excède la* « *grosseur de toute la terre!...* telle est l'eau que le Volga « jette dans la mer Caspienne ; de sorte qu'il est absolument « nécessaire que l'eau passe incessamment de la mer dans « la terre, etc. » Ces deux erreurs commises en sens inverse, et que l'observation des faits est venue tardivement rectifier, montrent bien à la fois et la faiblesse de nos propres conceptions et la puissance réparatrice de la méthode expérimentale.

Mais ce n'était pas tout d'avoir compris le mécanisme qui produit ce grand phénomène de l'échange perpétuel de l'eau douce et de l'eau de mer, et d'avoir restitué à la chaleur atmosphérique la fonction d'approvisionner les fontaines : il fallait encore découvrir la loi de distribution des eaux pluviales. La géologie nous fournit, à cet égard, des renseignements positifs, en nous faisant connaître la constitution de l'écorce terrestre.

Réduits en termes généraux, les principes que fournit cette science au problème que nous discutons se réduisent à deux, relatifs, l'un à la stratification des terrains sédimentaires, l'autre à leur soulèvement. Le premier nous montre l'écorce terrestre composée de couches parallèles et continues, séparées à la manière d'un mur par des joints bien tranchés, et formées par les dépôts successifs des eaux qui ont recouvert à diverses époques la surface des continents. Le second nous apprend que les terrains ainsi régulièrement stratifiés en couches horizontales ont éprouvé des ébranlements successifs qui les ont disloqués, fendus en certains points, et infléchis sous forme de bassins ou de cônes plus ou moins étendus. Comme un pais carton qui, formé d'abord de feuillets plans et superposés, aurait été gauchi et crevassé sous l'action de causes

extérieures, l'ensemble des terrains sédimentaires a joué en quelque sorte, a perdu son niveau, et présente çà et là des creux et des bosses, en imposant à toutes les couches des formes ondulées. Ce double fait de la continuité des couches et de leur inflexion est la clef du problème qui nous occupe. En effet, en se redressant sous l'action des forces de soulèvement, les couches superficielles se sont déchirées, ont livré aux eaux torrentielles une partie de leurs dépouilles, et ont mis à nu les couches inférieures qui se montrent au jour et *affleurent*, comme on dit, soit sur les flancs, soit dans les dépressions des vallées. Or, parmi ces couches, il s'en trouve à divers étages qui sont perméables, et qui, présentant leur tranche à la surface du sol, boivent les eaux pluviales et courantes. Ces eaux doivent donc descendre par leur propre poids, pénétrer à diverses profondeurs entre deux bancs imperméables, et circuler ainsi, en vertu de la continuité des couches, sous la surface du bassin. Cet aperçu général donne déjà l'explication géologique du phénomène, et nous pourrons passer immédiatement à l'exposition des lois suivant lesquelles la pesanteur distribue les eaux souterraines en les élevant, dans les puits naturels ou artificiels, à la hauteur d'où elles descendent. Mais, pour compléter, autant qu'il convient ici, la théorie générale des sondages, il ne sera pas inutile d'ajouter quelques mots à ces notions élémentaires, renvoyant au chapitre suivant pour les détails géologiques.

Si, après avoir enlevé la couche toujours très-mince de terre végétale qui recouvre le sol, nous pénétrons plus avant, nous trouvons d'abord un terrain formé de couches ou d'amas peu réguliers de sables, de limons argileux, de cailloux roulés, de tufs calcaires et de débris organiques. La composition de

ces matériaux, leur disposition, leur emplacement sur les bords des fleuves, des lacs ou de la mer, tout annonce une formation récente due aux déplacements torrentiels que les eaux ont éprouvés depuis que la terre est devenue habitable. Ces terrains, arrachés aux flancs des montagnes, ont été évidemment charriés par les eaux, et déposés pêle-mêle avec les paillettes d'or et de platine, les diamants, les coquilles et les ossements fossiles qu'on y trouve, dans les vallées où ils présentent quelquefois une épaisseur de plus de 200 mètres. *Ce sont les terrains d'alluvion.* Dans cette classification l'on comprend aussi les tourbières, quoique leur origine ne provienne d'aucun charriage et soit au contraire une excroissance, pour ainsi dire, journalière du sol, et dont l'étendue et la puissance donnent lieu à des exploitations importantes.

Sous ces terrains de transport nous rencontrons une grande formation, désignée sous le nom de *terrain tertiaire*. Cet étage géologique se reconnaît à des caractères bien tranchés, à la stratification régulière de ses couches disposées en bassins ou en lits, à la composition de terrains d'origine lacustre ou marine, enfin aux débris fossiles qu'ils renferment. Voici, en prenant le bassin de Paris pour exemple, comment se succèdent les différentes couches qui composent ce terrain, sauf les lacunes partielles que présentent les unes ou les autres en différents points. A la surface on trouve d'abord un dépôt de terre argileuse d'un brun verdâtre, contenant du sable, du silex et des pierres meulières; puis des bancs où le calcaire d'eau douce domine de plus en plus et dont l'épaisseur variable s'élève quelquefois à près de cent mètres; sous cette masse pierreuse, il s'en présente une autre de quarante ou cinquante mètres, qui repose elle-même sur de grands bancs de grès

généralement peu puissants. En creusant toujours, on rencontre, après avoir traversé un grand dépôt de marnes, une formation bien caractérisée, et présentant ordinairement une épaisseur de quinze à trente mètres au plus, c'est le gypse. Au-dessous s'étendent des bancs de calcaire lacustre et des argiles marneuses coupées par des plaquettes de ce calcaire. Après ces marnes l'on arrive au calcaire grossier, dont les fossiles appartiennent à l'eau marine, et dont l'ensemble peut avoir de quinze à trente mètres de puissance, et se termine souvent par des sables chlorités qui contiennent des eaux jaillissantes abondantes. Une couche plus ou moins épaisse d'argile et de lignites, puis enfin l'argile plastique, souvent divisée par des bancs de sables quartzeux, et posée sur la craie, forment la base des terrains tertiaires. C'est dans ces couches que la plupart des fontaines artésiennes du bassin de Paris ont été obtenues.

Après avoir percé cette série de couches provenant évidemment de la dissolution des terrains de date antérieure, on entre dans une formation également stratifiée, mais dont les couches, caractérisées par des fossiles plus anciens, affectent d'autres allures, se continuent sur de larges surfaces, et ne se redressent qu'après avoir circonscrit des bassins d'une grande étendue. C'est d'abord la craie fendillée en tous sens, blanche, grise ou jaune à sa partie supérieure, passant ensuite au vert et aux grès et sables verts de la glauconie, et, au-dessous, au calcaire à astartes, au corarag, à l'oxfort-clay, au calcaire portland, à la grande oolite, à l'oolite inférieure, et aux différentes variétés de calcaire jurassique, traversé par d'immenses cavernes, et reposant souvent sur les marnes du lias, sur le calcaire ferrugineux, le calcaire sableux, ou le lias infé-

rieur et quelquefois sur les marnes irisées qui, dans nos départements de l'Est, renferment de grands gisements de gypse et de sel gemme. Parfois un grand nombre de formations de l'étage secondaire manquent, et la craie, comme en Belgique, repose directement sur les grès et schistes houillers, et même sur les terrains de transition. Telles sont, en résumé, les trois grandes formations qui constituent les *terrains secondaires*.

Sous ces puissantes couches qui sont encore l'œuvre des eaux, on rencontre un terrain d'espèce nouvelle, portant les traces visibles du feu qui lui a donné naissance. Ce sont des masses compactes, vitreuses, cristallines, d'une composition uniforme et bien définie, n'offrant, au lieu de la stratification observée plus haut, qu'un bloc solide, à peine traversé par des fissures irrégulières et recouvert seulement à sa surface par des feuillets que les eaux ont détachés pour former un *terrain intermédiaire* ou de *transition*. Nous sommes parvenus à la solide carcasse du globe, à cette formation, la plus ancienne de toutes, que l'on appelle le *terrain primitif*, et connue sous les noms de granit, de gneiss, de porphyre, de calcaire, de gypse ou de schiste primitifs.

Voilà, en y comprenant ces épanchements éruptifs que le feu central a lancés çà et là sous la forme de filons, d'amas et de laves à travers les terrains sédimentaires, voilà, disons-nous, la disposition générale de ces couches qui, en se modelant sur les formes concaves ou convexes des bassins terrestres, y forment comme autant de cuvettes emboîtées, entre lesquelles s'étendent les nappes d'eaux souterraines. Mais comment, par quelle force, suivant quelles lois, les eaux descendues dans les profondeurs du sol surgissent-elles plus loin à la surface? C'est là ce qui nous reste à dire en peu de mots.

La solution du problème du jaillissement des eaux repose tout entière sur le principe, aussi simple que fécond, qui sert de base à l'hydrostatique.

La distinction si naturelle établie entre les corps solides et les corps fluides correspond en mécanique à une différence bien tranchée dans la manière dont les uns et les autres se comportent sous l'action des forces. Dans les premiers, les molécules, attachées ensemble et groupées d'une manière fixe, se meuvent parallèlement sous l'impulsion des forces extérieures ; dans les seconds, au contraire, les molécules, indépendantes et libres de glisser les unes contre les autres, se foulent, développent des poussées latérales, et transmettent dans toutes les directions la pression appliquée en un point de leur surface. Frappez, par exemple, une masse de métal sur une enclume, les coups de marteau assenés verticalement se transmettront verticalement au support, sans exercer une poussée sensible sur les corps placés à côté du lingot ou sur sa face supérieure. Essayez, au contraire, d'enfoncer un bouchon dans le col d'un flacon plein d'un liquide : est-ce sur le fond du vase seulement que se transmettra l'effort vertical imprimé au liquide ? Nullement ; la surface entière du vase subira la pression, et le liquide, réagissant en tous sens, tendra à jaillir dans toutes les directions, sur toutes les faces à la fois, par côté, de bas en haut, aussi bien que dans le sens où le bouchon s'avance.

Ce qu'une force extérieure produit dans toute la masse d'un liquide, la pesanteur de ce liquide même le produit avec une intensité croissante dans les couches de plus en plus profondes qui composent sa masse ; de sorte que celles-ci, pressées par celles qu'elles supportent, reçoivent de cet effort ver-

tical une poussée en tous sens qui les fait jaillir par toutes les issues, et remonter à la hauteur même du niveau supérieur. De là des phénomènes extrêmement variés, et dont la parfaite simplicité, dissimulée sous des apparences paradoxales, a échappé aux anciens et a vivement surpris l'esprit des modernes, lorsque Pascal, dans cette immortelle brochure qui porte pour titre : *Traité de l'équilibre des liqueurs*, la dégagea de ses voiles, et posa sur ses véritables bases la théorie complète de l'hydrostatique.

Parmi les expériences invoquées par Pascal, il en existe une qui résume tous les phénomènes statiques et dynamiques dont nous avons à nous occuper ici : concevez des vases en nombre quelconque et des formes les plus diverses plongeant dans un réservoir qui les fait tous communiquer par le fond ; si dans un ou plusieurs de ces vases vous versez une certaine quantité de liquide, ce liquide remonte dans les autres vases, et ne s'arrête que lorsqu'il a atteint dans tous le même niveau. L'équilibre ainsi établi peut être rompu de deux manières : soit en versant dans un de ces vases une nouvelle quantité de liquide, soit en coupant l'un d'eux de telle sorte que son orifice soit inférieur au niveau commun. Dans le premier cas, le liquide surajouté descend et se distribue dans tout l'appareil; dans le second cas, le liquide jaillit par l'orifice inférieur, et la diminution qui en résulte dans la masse totale se répartit aussi sur l'ensemble des vases. Que la masse liquide, alimentée par un réservoir supérieur, soit très-considérable par rapport à la quantité qui entre dans le premier tube et qui sort par le second, le niveau ainsi établi se maintiendra sans modifier sensiblement le niveau général, et le premier tube, buvant toujours ce qu'on y verse, fonctionnera comme un puits absorbant,

tandis que le second, continuant à couler, représentera une fontaine jaillissante.

Des appareils de ce genre ont été construits par la nature dans l'épaisseur des terrains stratifiés; toute couche perméable qui, après avoir affleuré sur le bord supérieur d'un bassin géologique, s'enfonce sous des couches imperméables, fait l'office du réservoir dont nous parlions tout à l'heure, et les points d'affleurement de cette couche, ainsi que les puits naturels ou artificiels qui la mettent en rapport avec la surface du bassin, sont autant de vases communiquants dont la bouche absorbe ou lance les eaux intérieures, selon qu'elle s'ouvre au-dessus ou au-dessous du niveau qu'affecte le liquide.

Ainsi se trouve complétée cette grande théorie qui, après avoir reconnu dans l'évaporation atmosphérique le mode d'alimentation des eaux douces, a découvert dans les formes caractéristiques de l'écorce terrestre les récipients où elles sont versées, et voit dans la pesanteur la force qui les distribue.

L'explication complète de tous les phénomènes hydrauliques que nous offre la nature, la réalisation assurée de ceux que l'art se propose de produire, telles sont les deux conséquences pratiques de cette théorie. Rassemblons ici quelques exemples des principaux phénomènes que l'observation des géographes a recueillis.

A commencer par les sources qui surgissent à la surface des continents, deux fontaines célèbres, celle de Vaucluse et celle de Nîmes, ont occupé à juste titre l'attention des hydrographes. A sa sortie des rochers souterrains qui lui ont donné passage, la fontaine de Vaucluse forme le cours d'eau de la Sorgue, qui est une véritable rivière. Quand elle est le moins abondante, elle fournit encore 444 mètres cubes d'eau par

minute. A l'époque des plus fortes crues ce produit est triplé et s'élève à 1,330 mètres cubes. Dans son état moyen, l'observation donne 890 mètres cubes par minute, près de 1,300 mille mètres cubes par jour, et 468 millions de mètres cubes en une année. Ce dernier nombre est à peu près égal à la quantité totale de pluie qui, dans cette région de la France, tombe chaque année sur une étendue de 480 kilomètres carrés. D'où vient ce puissant cours d'eau souterrain? Est-ce du lit de la Durance, comme l'ont supposé plusieurs ingénieurs? C'est ce qu'il reste encore à décider; mais l'influence des eaux pluviales sur le débit de la source est attestée par la crue subite et le trouble que ces eaux éprouvent après les grandes averses. La même influence se fait sentir d'une manière encore plus frappante sur la fontaine de Nîmes. Dans les grandes sécheresses le produit de cette source se réduit quelquefois à 1,330 litres par minute; mais qu'il pleuve fortement dans le nord-ouest de la ville, jusqu'à 10 ou 12 kilomètres de distance, et presque aussitôt une crue se manifeste et porte à 10,000 litres le débit de la fontaine.

Dans les départements de la Côte-d'Or et de la Haute-Saône, des sources énormes sourdent des fissures du calcaire jurassique, font marcher des usines, et, suivant les pluies qui tombent dans le pays haut, forment des bouillons de plusieurs mètres carrés, dont le débit est de plus de 500 mètres cubes par minute. Dans les années de grande sécheresse, des rivières importantes sont, après un parcours plus ou moins long, entièrement absorbées dans les fissures du calcaire jurassique, et ne reparaissent, à quelques kilomètres de distance, que sous la forme d'une multitude de petites sources.

Dans le département des Deux-Sèvres, près de l'ancienne

abbaye de Bonneuille, un petit étang de 50 ares superficiels déborde chaque année, et couvre, sur une largeur de plus d'un kilomètre, toute la vallée qui s'étend jusqu'à Couhé. Après quelques jours, cette quantité d'eau de plusieurs millions de mètres cubes est absorbée dans des trous de 1 ou 2 décimètres. Mais alors on recueille une quantité considérable de poissons, et notamment d'anguilles et de brochets. L'ancienne abbaye dont dépend le Brimbaro (c'est le nom du gouffre) affermait cette pêche 2,400 francs par an, outre sa réserve.

Si, dans un grand nombre de cas, on peut constater que les eaux pluviales reçues sur une vaste étendue du pays se sont rassemblées pour former des rivières souterraines, on voit aussi, bien souvent, des rivières qui, après avoir coulé à ciel ouvert, pénètrent dans le sol en s'engouffrant dans des puisards naturels, ou en s'infiltrant peu à peu dans des terrains perméables.

Ce phénomène avait vivement frappé les anciens : Sénèque le décrit dans ses *Questions naturelles*, et Pline cite, parmi les rivières qui disparaissaient sous terre, l'Alphée, le Tigre, le Nil, le Timavus, etc. Il n'y a pas de pays où cette circonstance ne se présente. En Espagne, le Guadiana se perd dans un pays plat au milieu d'une immense prairie. En France, le Rhône disparaît un moment dans les cavernes du Jura; la Meuse disparaît à Bazoilles et reparaît à Noncourt, après un trajet souterrain de près d'un myriamètre. La Drôme se perd complétement au milieu d'une prairie dans un trou de 10 à 12 mètres de diamètre, connu des habitants sous le nom de fosse de Soucy, mais elle n'y arrive qu'après s'être beaucoup affaiblie, en passant sur un certain nombre de gouffres qui *boivent* ses eaux, suivant l'expression locale. La Normandie

compte encore plusieurs rivières, la Rille l'Iton et l'Aure, qui disparaissent de la même manière. Il y a de distance en distance, dans le lit de ces rivières, des trous nommés *bétoirs*, qui absorbent les eaux. L'Aros nous offre encore le spectacle d'une rivière qui passe sous une des montagnes de la chaîne des Pyrénées et reparaît de l'autre côté ; mais que sont ces divers exemples auprès de celui que présente la magnifique *Rock-Bridge*, en Virginie, cette voûte naturelle sous laquelle plonge, à 90 mètres de profondeur, un ravin où s'engloutit le *Ceder-Creek?*

Au milieu de ce réseau de courants qui composent notre hydrographie souterraine, on doit s'attendre à voir figurer de vastes réservoirs enfermés dans les cavernes intérieures ; on connaît, en effet, dans diverses contrées, des lacs souterrains plus ou moins étendus, et qui sont sujets quelquefois à déborder en faisant remonter leurs eaux jusqu'à la surface de la terre. Les eaux du Céphissus, en Béotie, se perdent dans des marais tourbeux qui occupent la place assignée par Strabon à l'ancien lac Copaïc. Le lac de l'*Oat-Frise*, qui existait dans le douzième siècle, est aujourd'hui recouvert par une croûte limoneuse qui s'est peu à peu convertie en terre végétale ; lorsqu'on perce cette voûte, on retrouve au-dessous l'ancien lac. Dans le territoire de Livière, près Narbonne, on voit cinq gouffres nommés *Œliols*, d'une profondeur énorme, et qui communiquent avec une grande nappe d'eau très-poissonneuse. La terre tremble sous les pas des paysans que la pêche y attire. Dans les pays dont le sol recèle du sel gemme et des sources salées, on voit quelquefois se produire de grands effondrements de terrains sur des cavités remplies d'eau. En 1792, un lac se forma subitement dans un faubourg de la ville

de Lons-le-Saulnier; plusieurs maisons s'y abîmèrent, ainsi qu'une partie de la route de Lyon à Strasbourg, et l'affaissement du sol découvrit un lac souterrain dont l'existence était ignorée.

Enfin Buffon rapporte qu'une montagne calcaire des Pyrénées s'abîma en 1678, et qu'un lac qu'elle recélait dans ses cavités causa une forte inondation dans une partie de la Gascogne.

Les relations si remarquables qu'on observe entre les lacs et les rivières qui existent à la surface du sol se représentent avec des caractères particuliers dans les cavités souterraines, et rendent raison de plusieurs singularités hydrauliques qu'on a longtemps considérées comme des anomalies inexplicables. Les sèches du lac de Genève nous offrent un phénomène de ce genre : à certaines époques de l'année le niveau de l'eau s'élève brusquement de près d'un mètre, sans que les cours d'eau affluents aient subi une crue sensible; puis, au bout de quelques heures, le lac s'affaisse avec la même rapidité, et reprend son niveau. On ne peut douter que l'immense quantité d'eau qui produit ce brusque et éphémère exhaussement du lac n'y ait été amenée par des conduits souterrains, qui communiquent du fond avec de vastes réservoirs creusés sous les montagnes voisines; mais quelle est la cause qui, après avoir ainsi brusquement projeté cette masse d'eau souterraine dans le lac, l'en retire tout à coup? Voilà ce qu'il paraît très-difficile de décider. Un de nos ingénieurs, M. Vallée, a proposé une explication très-satisfaisante : il suppose que les réservoirs souterrains qui communiquent avec le lac sont mis d'un autre côté en rapport avec les glaciers alpestres par des fissures ou de long couloirs verticaux creusés dans les montagnes. Au

moment de la fonte des neiges, de grandes masses d'eau, des avalanches, des quartiers de glace tombent dans ces galeries, poussent devant eux l'air qui y est contenu et le précipitent dans les réservoirs inférieurs. Cet air, ainsi comprimé au-dessus de l'eau souterraine, l'entraîne brusquement dans le lac dont le niveau s'élève soudain. Cette première période ressemblerait exactement, comme on voit, à ce qui se passe dans la fontaine de Héron, et dans la machine à colonne d'eau employée pour l'épuisement des mines. Quant au reste, il est maintenant facile de s'en rendre compte. L'avalanche, engagée dans les couloirs, s'écoule bientôt et rend le passage libre à l'air intérieur, qui s'échappe aussitôt dans l'atmosphère et permet à l'eau du lac de reprendre son niveau, en se déchargeant dans les cavernes d'où elle avait été chassée d'abord.

Cette ingénieuse hypothèse est confirmée par plusieurs phénomènes, parmi lesquels nous citerons celui que présente le lac *Zirknitz en Carniole,* en empruntant ces détails à la notice scientifique de M. Arago[1]. « Ce lac a environ 8 kilomètres de long sur 4 kilomètres de large. Vers le milieu de l'été, si la saison est sèche, son niveau baisse rapidement, et en peu de semaines il est complétement à sec. Alors on aperçoit distinctement les ouvertures par lesquelles les eaux se sont retirées sous le sol, ici verticalement, ailleurs dans une direction latérale vers les cavernes dont se trouvent criblées les montagnes environnantes. Immédiatement après la retraite des eaux, toute l'étendue des terrains qu'elles couvraient est mise en culture, et au bout d'une couple de mois, les habitants du pays fauchent du foin ou moissonnent du seigle, là où quelque temps aupa-

[1] *Annuaire du bureau des longitudes,* 1835.

ravant ils pêchaient des tanches et des brochets. Vers la fin de l'automne, après les pluies de cette saison, les eaux reviennent par ces mêmes canaux qui leur avaient ouvert un passage au moment de leur disparition. On a remarqué parmi ces diverses ouvertures du sol des différences singulières; les unes fournissent seulement de l'eau, d'autres donnent passage à l'eau et à des poissons; il en est enfin d'une troisième espèce par lesquelles il sort d'abord quelques canards du lac souterrain. Ces canards, au moment où le flux liquide les fait pour ainsi dire jaillir à la surface de la terre, nagent bien. Ils sont complétement aveugles et presque entièrement nus. La faculté de voir leur vient en peu de temps, mais ce n'est guère qu'au bout de deux ou trois semaines que leurs plumes ont assez poussé pour qu'ils puissent s'envoler. Valvasor visita le lac de Zirknitz en 1687; il y prit lui-même un grand nombre de ces canards, et vit les paysans pêcher des anguilles qui pesaient 2 ou 3 livres, des tanches de 6 à 7 livres, enfin des brochets de 20, de 30 et même de 40 livres. » Nous avons ici, comme on voit, non-seulement une immense nappe d'eau souterraine, mais un lac véritable avec les poissons et les canards qui peuplent les lacs de la surface, et ce que nous avons cité plus haut de ce que nous avions nous-mêmes remarqué dans le département des Deux-Sèvres est confirmé par le savant secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences.

Il serait d'ailleurs facile de multiplier les exemples de ce genre. Il existe près de Sablé (Sarthe), un gouffre de 6 à 8 mètres de diamètre, dont on n'a pu déterminer la profondeur. Ce gouffre, connu dans le pays sous le nom de *fontaine sans fond*, déborde quelquefois; il en sort alors une quantité prodigieuse de poissons, et surtout de brochets truités d'une

espèce particulière. Le puits du village de Frotté, près de Vesoul, est aussi un entonnoir naturel, remarquable par ses débordements qui inondent la campagne et laissent, en se retirant, des brochets au milieu des prairies. *Le puits d'Ornans*, *le puits noir* et *le puits blanc*, près des ruines de l'ancienne ville d'Antre, dans le Jura, sont encore des espèces de gouffres très-profonds, par lesquels l'eau sort par torrents après les grandes pluies et les fontes de neige.

Les grands mouvements d'eau souterraine, dont nous venons de citer des exemples, ne laissent aucun doute sur le mode d'alimentation des fontaines, dont le bassin s'ouvre, soit au milieu d'immenses plaines, comme celles de l'Artois, soit au milieu de montagnes très-élevées ; il suffit alors de concevoir que le courant souterrain qui surgit dans ces plaines ou sur ces montagnes a son point de départ à 80, 120, et même 400 kilomètres de distance, sur une hauteur dont le niveau dépasse celui de la source. Rien n'empêche d'admettre que les eaux qui surgissent dans une île de l'Océan ne soient entretenues par des courants venus du continent, en circulant sous le fond de la mer. Cette circonstance doit même se présenter souvent, puisque l'on connaît des sources d'eau douce qui s'ouvrent en pleine mer et jaillissent du fond jusqu'à la surface de l'Océan. Il y a une source de cette espèce dans le port de la Ciotat.

M. de Humboldt rapporte que, sur la côte méridionale de Cuba, dans la baie de Xagna, à deux ou trois milles de terre, des sources d'eau douce jaillissent avec tant de force du milieu de la mer, que les petites barques n'en approchent pas sans danger. Une des plus belles sources d'eau jaillissante dans la mer est celle du golfe de la Spezzia, décrite par Spallanzani.

Cette source, éloignée de 50 mètres de la terre, forme à la surface de la mer un mamelon de 25 mètres de diamètre, sur 3 ou 4 décimètres de hauteur au point central. Elle est composée d'un grand nombre de jets verticaux, très-distincts quand la mer est calme. Ces jets ont une telle impétuosité qu'il est difficile à un bateau de s'arrêter au centre du mamelon. La profondeur de l'entonnoir d'où ils sortent est de 14 à 15 mètres. Lorsque l'un de nous a visité la petite principauté de Monaco, il a vu, au cap Martin, puiser de l'eau douce au milieu de la mer; le bouillon, s'élevant verticalement, avait près d'un mètre de diamètre; l'eau était d'excellente qualité, et provenait des fissures existant dans les formations de poudingue sur lesquelles est tracée la route de la Corniche. Citons encore l'observation faite, il y a peu d'années, par des officiers anglais, qui trouvèrent par un calme plat, dans les mers de l'Inde, une abondante source d'eau douce, éloignée d'environ 150 kilomètres du point de la côte la plus voisine.

Cette relation souterraine entre l'eau douce et l'eau marine explique comment le flux et le reflux de la mer font sentir leur influence sur le niveau et sur la dépense de certaines fontaines placées à quelque distance des côtes. On a reconnu, par exemple, que la fontaine jaillissante de Noyelle-sur-Mer et toutes celles qui ont été forées dans les environs d'Abbeville montent et baissent avec la marée. A Fulham, près de la Tamise, dans une propriété de l'évêque de Londres, une fontaine forée à 97 mètres de profondeur donne 363 ou 273 litres par minute, suivant que la marée est haute ou basse. Ce phénomène a son explication dans un principe général de l'hydrodynamique, et nous ne pouvons mieux faire que de reproduire textuellement la théorie qu'en a donnée M. Arago :

« Si l'on pratique, dans la paroi d'un vase de forme quelconque rempli de liquide, une ouverture dont les dimensions comparées à celle du vase soient très-petites, l'écoulement qui s'opérera par cette ouverture n'altérera pas sensiblement l'état initial des pressions ; deux, trois, dix ouvertures, pourvu qu'en somme elles satisfassent toujours à la condition d'être très-petites, laisseront, de même, les pressions exercées sur chaque point du vase un peu éloigné de ces ouvertures ce qu'elles étaient dans l'état d'équilibre, ce qu'elles étaient quand le liquide n'avait aucun mouvement. »

Supposez maintenant l'ouverture ou les ouvertures un peu grandes : tout sera changé et les dimensions qu'on leur donnera régleront les pressions en chaque point ; et si l'une des ouvertures diminue de grandeur, la vitesse d'écoulement augmentera aussitôt dans les autres.

Admettons que la rivière souterraine où s'alimente une fontaine artésienne se décharge partiellement dans la mer ou dans un fleuve sujet au flux et au reflux, et cela par une ouverture un peu grande, comparée à ses propres dimensions ; si cette ouverture diminuait, la pression, comme nous venons de le dire, s'accroîtrait aussitôt dans tous les points des canaux naturels ou artificiels que les eaux de la rivière remplissent ; l'écoulement de la fontaine deviendrait donc plus rapide, ou bien le niveau de l'eau s'élèverait dans les buses. Or, amener la haute mer sur l'ouverture par laquelle une rivière souterraine se décharge, c'est diminuer, par une augmentation de la pression extérieure, la quantité d'eau de cette rivière qui pourra s'écouler dans un temps donné. L'effet est précisément celui qu'une diminution d'ouverture eût produit ; ainsi la conséquence doit être la même : le flux et le reflux de la mer déter-

mineront donc un flux et un reflux correspondant dans les fontaines placées dans le voisinage des côtes : il se fait même sentir à de grandes distances. Ayant rendu compte à M. Arago des variations du puits artésien que notre maison avait exécuté à l'hôpital militaire de Lille pour le compte du ministre de la guerre, l'Académie des sciences chargea le capitaine du génie Bailly de bien constater les intermittences d'augmentation et de variation, et un chronomètre réglé à Dunkerque et à Lille établit, après plus d'un mois d'observations minutieuses et mille fois répétées, les concordauces du puits et de la marée ; les eaux jaillissantes provenaient de fissures dans le calcaire carbonifère. Le puits a 120 mètres de profondeur et la surface du sol n'est qu'à 28 mètres au-dessus de la mer.

On rencontre dans l'intérieur des continents un grand nombre de fontaines qui présentent dans leur écoulement des alternatives de crue et de décroissance beaucoup plus remarquables que celles que nous venons de signaler. Les unes dites *intermittentes* sont celles dont l'écoulement cesse et reparaît à différentes reprises en un certain temps. Les autres, dites *intercalaires,* sont celles dont l'écoulement, sans cesser tout à fait, présente des périodes d'augmentation et de diminution qui se succèdent dans un temps plus ou moins considérable. Enfin plusieurs fontaines subissent dans leur cours des modifications qui les font passer de l'uniformité à l'intermittence, de l'intermittence à l'intercalation, et revenir ensuite à l'uniformité par des nuances aussi marquées.

Ces phénomènes singuliers étaient faits pour attirer l'attention des anciens ; et tandis que Héron d'Alexandrie et Pline le naturaliste en ébauchaient la théorie avec une remarquable sagacité, la curiosité populaire s'en emparait pour y rattacher

des idées superstitieuses. Aussi Pline nous dit-il que les Cantabres tiraient des augures de l'état où ils trouvaient les sources du Tanariscus. Le père Dechalles rapporte que l'on croit en Savoie que la fontaine de *Haute-Combe* ne coule point en présence de certaines personnes; et M. Atwell a trouvé les mêmes idées parmi les habitants de Brixam au sujet de la source périodique de *Lawyell.* Schenchzer assure, de même, que les habitants du mont Eng-Shen tiennent pour certain que la fontaine périodique qui y prend sa source cesse de couler lorsqu'on y lave quelque chose de sale, et ce voyageur, après avoir combattu cette opinion populaire, finit par paraître ébranlé par le témoignage constant des habitants qu'il a consultés. Enfin une autre espèce de propriété qu'on a le plus constamment attribuée aux fontaines, est celle de prédire l'abondance ou la stérilité. Jean Fabvre, médecin de Castelnaudary, prétend que les habitants de Belesla en Languedoc pouvaient juger des années par le cours de Fontestorbes, et l'on pourrait peut-être essayer d'appuyer cette affirmation sur quelques raisons plausibles, si Fabvre n'ajoutait que le cours uniforme de cette fontaine, pendant les années 1624 et 1625, annonçait la conversion des réformés.

Quoi qu'il en soit, voici quelques exemples de fontaines périodiques : la source de Fontestorbes, dont nous venons de parler, est intermittente pendant la sécheresse, depuis juin jusqu'en septembre. Le temps de son intermittence est ordinairement de 32 minutes et demie et l'écoulement dure 36 ou 37 minutes. Cette seconde période s'allonge lorsque la saison est pluvieuse. Avant que l'eau commence à couler dans le bassin extérieur de la fontaine, on entend un bruit sourd qui précède l'écoulement d'environ 12 minutes.

Pline parle d'une fontaine qui était à Dodone, dont l'écoulement cessait tous les jours à midi et reparaissait avec abondance à minuit. Il rapporte aussi que, dans l'île de Ténédos, une fontaine débordait tous les jours après le solstice d'été, depuis neuf heures du soir jusqu'à minuit. Suivant lui, trois des sources du Tanariscus sont à sec pendant douze ou même vingt jours, tandis qu'une autre coule près de là avec abondance et sans interruption. Josèphe rapporte qu'en Syrie, entre la ville d'Arc et Raphanées, une rivière appelée *Sabbatique* était à sec pendant six jours et coulait le septième. Brynolphe Suénon dit avoir vu en Islande, près de Skalholt, une fontaine périodique d'eau chaude qui coule en bouillonnant pendant une heure et laisse son bassin à sec pendant 23 heures. Childrey fait mention, dans son traité des *Curiosités d'Angleterre*, de plusieurs fontaines intermittentes, et il en place une près de Buxton, dans la province de Derby, qui coule de quart d'heure en quart d'heure. La source de Lawyell, en Devonshire, est intercalaire composée. Il y a un courant d'eau qui se décharge continuellement dans le bassin principal, et lorsque l'accès s'y fait sentir, de petites sources voisines éprouvent un écoulement qui dure autant que l'accès ; on remarque dans ces instants, à différentes reprises, une augmentation et une diminution considérables dans le bassin. Ces flux et ces repos intercalaires se répètent seize fois en une demi-heure ; mais sur la fin de l'accès le flux produit moins d'eau et dure moins qu'au commencement. Ces révolutions périodiques éprouvent d'ailleurs des variations qui dépendent de la pluie ou de la sécheresse. Près de Paderborn, en Westphalie, une fontaine appelée *Bolder-Born*, c'est-à-dire *bruyante*, coule et est à sec deux fois par jour; ses accès s'annoncent par un grand bruit.

Dans le royaume de Cachemire, on voit une fontaine qui, pendant la fonte des neiges du mois de mai, coule et s'arrête régulièrement trois fois en 24 heures; son écoulement est ordinairement de trois quarts d'heure et son produit très-abondant. Après les quinze premiers jours, son cours diminue et devient moins régulier; elle tarit enfin et est à sec le reste de l'année.

Près de La Rochelle, M. Floriau de Bellevue, correspondant de l'Académie des sciences, a fait exécuter un forage de 174^m,53; il appela l'un de nous afin de garantir, par un tubage, son forage des eaux de mer : les tubes placés, nous lui conseillâmes la continuation du forage, et peu de temps après il écrivait une lettre que nous transcrivons entièrement et que l'on trouvera au chapitre traitant des différentes applications de la sonde, dans lequel nous nous sommes plus étendus sur certains points que nous ne pouvons le faire dans ce précis.

Près du lac de Côme est une fontaine que Pline a décrite le premier et qui hausse et baisse trois fois le jour. Piganiol de la Force parle dans sa *Description de la France* d'une fontaine périodique, située sur le chemin de Touillon à Pontarlier, en Franche-Comté. Quand le flux va commencer, on entend un bouillonnement et l'eau sort aussitôt de trois côtés en formant plusieurs jets qui s'élèvent peu à peu jusqu'à la hauteur d'un pied, et diminuent ensuite dans le même temps qu'ils ont mis à s'élever. Tout ce jeu dure environ un quart d'heure: le temps de l'intermission est de deux minutes. On trouve près de Colmars, en Provence, une fontaine qui coule huit fois dans une heure et qui s'arrête autant de fois. Gassendi assure que sa période est assez constante pendant tout le cours de l'année. La source de Fonsanche, en Languedoc, coule deux fois dans

24 heures, pendant 7 heures 25 minutes, et ces deux périodes sont séparées par un intervalle de 5 heures, les écoulements et les intermissions retardent environ de 50 minutes par jour, par rapport aux mêmes effets du jour précédent.

Tous ces phénomènes et ceux dont nous pourrions encore grossir cette liste, quelque bizarres qu'ils paraissent au premier abord, ne sont que des effets de quelques combinaisons fort simples de réservoir et de siphon, qu'affectent naturellement les couches géologiques, et que les physiciens reproduisent dans les jeux hydrauliques de leurs laboratoires. Pour réaliser, par exemple, un écoulement intermittent, il suffit d'adopter la disposition suivante. Prenez un vase alimenté par un courant d'eau continu, et placez dans ce vase un siphon dont la petite branche y plonge à une certaine profondeur, tandis que la plus longue sort du vase par un trou pratiqué dans une de ses parois, en ayant soin que la courbure du siphon ne monte pas aussi haut que les bords du vase : tant que l'eau affluente n'a pas atteint la hauteur de la courbure du siphon, le réservoir se remplit sans se vider ; mais dès que l'eau qui s'accumule a rempli la petite branche du siphon, elle tombe par son propre poids dans la grande, le siphon est amorcé et commence à débiter du liquide. Si le diamètre de ce tube est assez grand pour que la quantité d'eau qu'il verse au dehors surpasse celle du courant qui l'alimente, le réservoir se vide peu à peu, et le niveau de l'eau qu'il contient finit par descendre au-dessous de l'ouverture du siphon ; celui-ci, ne plongeant plus dans le liquide, se vide et cesse de couler. A partir de ce moment, le réservoir se remplit de nouveau jusqu'à ce que le siphon soit encore une fois amorcé et recommence à couler, présentant ainsi cette succession

de phénomènes qui caractérisent les fontaines intermittentes. Rien de plus simple que ce mécanisme, et il est très-vraisemblable qu'une telle disposition se présente dans l'intérieur du sol : il suffit de concevoir une de ces larges cuvettes formées par les couches imperméables dans la concavité d'un bassin, et d'admettre qu'en un point de ce réservoir, continuellement alimenté par les eaux pluviales, la direction des couches ait été changée par un éboulement, qui les ait fait communiquer comme par un siphon avec des cavités inférieures communiquant elles-mêmes avec le bassin d'une fontaine. Pour peu que les dimensions des orifices d'admission et de sortie satisfassent aux conditions énoncées plus haut, la source ainsi alimentée présentera tous les caractères d'une fontaine intermittente.

Après avoir tracé ce tableau des principaux phénomènes hydrauliques que nous offre la nature, il convient de parler de ceux que l'art sait produire en pratiquant, à l'aide de la sonde, des ouvertures à travers les couches où circulent les eaux. Énoncé dans ses termes les plus généraux, l'effet d'un sondage consiste à mettre en rapport des couches appartenant aux divers étages géologiques. Suivant que les eaux retenues dans les terrains inférieurs ont une pression plus forte ou plus faible que les eaux supérieures, elles remontent ou descendent, et donnent naissance à une fontaine jaillissante ou à un puits absorbant. Pour prévoir avec assurance lequel de ces deux effets inverses devra se produire, il suffit de déterminer par une exploration, ordinairement assez facile, l'inclinaison, l'allure et la disposition générale des terrains dans le bassin où l'on opère. Une série de coups de sonde aura bientôt fait reconnaître, par la comparaison des hauteurs de chaque couche en ses différents points, dans quel sens elles s'inclinent, ou quel

est, comme on dit, leur *pendage*. Ce premier renseignement indique la direction dans laquelle on doit marcher pour trouver, sur les hauteurs qui enceignent le bassin, les points d'affleurement de ses différentes couches; la hauteur relative de ces points donne précisément la pression hydraulique dans les couches correspondantes. Ajoutons qu'on a soin de reconnaître, par une inspection du pays, si, entre ces points d'affleurement qui donnent entrée aux eaux, et le lieu du sondage, le sol ne présente aucune fissure importante, aucune dislocation qui, en rompant la continuité des couches, donnerait issue aux eaux souterraines. Remarquons encore qu'en calculant la pression hydraulique des nappes ascendantes, d'après la hauteur du point d'où elles descendent, on doit tenir compte de la distance horizontale de ce point au lieu du sondage, et réduire la force ascensionnelle, à raison des pertes de vitesse dues au frottement des eaux, dans les longues galeries qu'elles ont eu à parcourir. Il faut tenir compte également de la distance du point où les eaux infiltrées souterrainement reparaissent à la surface du sol, soit par une grande échancrure des formations supérieures, soit par le relèvement des formations inférieures. Les coupes des vallées de la Seine et de la Marne, que nous décrirons dans le cours de l'ouvrage, sont des spécimens complets. Faisons enfin observer que cet examen des lieux, indispensable dans un pays nouveau, devient beaucoup plus facile et souvent tout à fait superflu dans les localités où des sondages déjà exécutés fournissent à l'avance des renseignements complets et décisifs.

Les terrains d'alluvion, en raison de leur épaisseur souvent très-faible et de leur stratification imparfaite, semblent présenter peu de ressource à l'art du sondeur. Cependant il est

des points où cette formation atteint une grande puissance et où les couches d'argiles, de sables et de graviers affectent dans leurs alternances assez de régularité. Dans ces circonstances, les sondages doivent être tentés, et ils ont souvent donné de bons résultats; mais on peut s'attendre à recueillir parfois des eaux chargées de sels calcaires qu'elles ont dissous dans leur passage: c'est ce qui est arrivé souvent en Afrique dans le creusement des puits ordinaires.

Les terrains tertiaires offrent déjà des bassins plus étendus, des couches mieux déterminées et des eaux plus pures; mais c'est dans les terrains secondaires que les phénomènes dont l'art du sondeur tire parti se présentent sur une plus vaste échelle, à raison de la grande épaisseur des couches, de leurs altèrnances de moins en moins fréquentes, de leur continuité qui s'étend sur des cirques immenses, et aussi de la force des cours d'eau inférieurs; toutes ces causes rendent les sources naturelles des terrains secondaires plus rares et plus abondantes, et assurent aussi le succès de l'opération, qui consiste à les rechercher à de grandes profondeurs.

Les forages y sont plus profonds et par conséquent plus coûteux que dans les formations précédentes, mais le résultat est plus probable. Nous entrerons dans des détails appuyés de coupes géologiques dans le chapitre traitant des différentes applications de la sonde.

Les connaissances géologiques se sont tellement généralisées depuis quelques années, et les progrès de cette science ont été si rapides depuis vingt ans, que, sans grossir inutilement ce traité, il nous a paru convenable d'esquisser à grands traits les principaux éléments de cette science, afin d'y familiariser les personnes qui y sont encore étrangères aujourd'hui.

Nous indiquons à celles qui voudront aller plus loin les traités qui les initieront complétement aux connaissances indispensables de cette branche si intéressante des sciences naturelles, qui nous fait suivre progressivement les développements des différentes couches formant le globe que nous habitons, et nous montre sans interruption le progrès constant. Ainsi dans les terrains primitifs, aucune trace d'êtres ou de végétaux; dans la partie supérieure des terrains de transition, quelques vestiges d'êtres organiques; dans les formations secondaires des plus anciennes, des animaux et des plantes simples; dans des formations secondaires plus récentes, d'abord les coquilles bivalves et les végétaux à ramifications, et, en suivant l'échelle ascendante, une plus grande variété d'êtres organiques, jusqu'à la végétation gigantesque et aux animaux vertébrés. Les terrains récents renferment des fossiles analogues aux êtres qui habitent notre globe, moins les espèces les plus perfectionnées vivantes aujourd'hui et qui sont le dernier degré du progrès atteint par la nature.

Pour donner une idée succincte de l'ordre de superposition et de puissance des couches qui forment l'écorce terrestre, nous ferons quelques emprunts aux publications de MM. D'Aubuisson de Voisin, Héricart de Thury, de la Bèche, d'Omalius d'Alloy, d'Orbigny, Lyell, ainsi qu'aux récentes publications de plusieurs ingénieurs des mines; nous nous efforcerons d'en faire un résumé clair; nous nous bornerons à énoncer les formations en leur donnant les noms les plus généralement adoptés, quelques-unes des synonymies, et éviterons autant que possible les nombreuses subdivisions qui embarrasseraient les personnes étrangères aux études géologiques, qui ne rechercheront ici que les notions nécessaires pour savoir si un puits

artésien peut ou non être tenté avec probabilité de succès, si un sondage plus ou moins profond peut amener la découverte d'un gisement minéral susceptible de donner lieu à une exploitation profitable.

Nous établirons ce que l'on doit entendre par minéraux, roches, fossiles, par terrains stratifiés et non stratifiés, et en donnerons la nomenclature d'après les auteurs de la carte géologique de France, MM. Élie de Beaumont et Dufresnoy.

Nous indiquerons ce que l'on entend par bassins géologiques et donnerons des indications pour les gisements de combustibles et de sels gemmes.

L'importance des connaissances élémentaires de la géologie pour tenter rationnellement un sondage, nous détermine à former de ce résumé un chapitre spécial, et à le placer à la suite de ce précis.

Après avoir retracé les principes généraux de l'hydrostatique sur lesquels est fondé l'art des sondages, il ne nous reste plus qu'à en retracer brièvement l'histoire.

L'usage de la sonde pour la recherche des eaux artésiennes remonte aux temps les plus reculés. Si on voulait remonter au plus loin, on pourrait avancer qu'il semble probable que Moïse, avant de lancer le peuple de Dieu dans le désert du Sinaï, avait eu soin de se pourvoir des verges nécessaires à des forages faciles et peu profonds que certains lieux permettent d'obtenir en quelques heures.

D'après le docteur Griffith, voyageur anglais qui a plusieurs fois traversé les déserts de l'Égypte, on trouve l'eau à de très-petites profondeurs sous le sable; il suffit, pour obtenir des sources jaillissantes, de percer avec une verge ou sonde une roche très-peu épaisse qui retient les eaux captives.

La Syrie et l'Égypte possèdent un grand nombre de fontaines obtenues par ce procédé, et la plupart des oasis de l'ancienne chaîne libyque doivent leur origine à des puits forés. Nous avons livré, il y a quelques années, à Ayme-Bey, directeur des établissements du pacha d'Égypte, les outils nécessaires pour désensabler quelques-unes de ces sources artificielles, dont la construction remonte à près de 4,000 ans, et les travaux exécutés ont fait reconnaître que ces puits étaient tubés en briques ou en bois [1].

Voici, d'après une lettre d'Ayme-Bey, quelques détails à ce sujet :

« Les deux *oasis de Thèbes et de Gharb* sont, on peut s'ex-
« primer ainsi, criblées de puits artésiens ; j'en ai nettoyé
« plusieurs : j'ai bien réussi, mais les dépenses sont grandes,
« par suite des quantités de bois dont il faut garnir toutes les
« ouvertures d'en haut, qui sont d'un carré de 6 à 10 pieds,
« pour éviter les éboulements. Ces ouvertures ont de 60 à 75
« pieds de profondeur ; à la dite profondeur on rencontre une
« roche calcaire sous laquelle se trouve une masse d'eau ou
« courant qui serait capable d'inonder les oasis si les anciens
« Égyptiens n'avaient établi des soupapes de sûreté en pierre
« dure, de la forme d'une poire, armée d'un anneau en fer,
« pour avoir la facilité de la faire entrer et la retirer au besoin

[1] Les nombreux travaux dus à la persévérance intelligente de notre compatriote Ayme-Bey, directeur général des établissements métallurgiques du pacha d'Égypte, ont changé la situation du pays dont Méhémet-Ali lui a donné l'administration, et ont fait honorer le nom français par les nombreuses tribus arabes qui sont venues se grouper autour des fontaines artésiennes qu'il a créées ou ressuscitées au milieu de ses beaux établissements.

« de l'*algue* de la fontaine. L'*algue*, ainsi appelée par les
« Arabes, est le trou pratiqué dans le rocher calcaire, qui,
« suivant la quantité d'eau que l'on veut rendre ascendante,
« a de 4, 5 et jusqu'à 8 pouces de diamètre. Mes recherches
« et l'expérience m'ont fait connaître que les anciens opé-
« raient ainsi : ils commençaient par établir un puits carré,
« jusqu'à ce qu'ils eussent trouvé la roche calcaire sous la-
« quelle se trouve cette immense quantité d'eau ; une fois la
« roche reconnue, ils garnissent les quatre façades de plan-
« ches à triple doublage pour éviter les éboulements des
« terres ; ce travail (qui se faisait à sec) terminé, ils perçaient
« la roche, soit avec des tiges de fer, soit avec un fer très-
« lourd attaché à une poulie. Tous les trous qui sont dans la
« roche calcaire ont de 300 à 400 pieds pour arriver au cours
« d'eau souterrain, lesquels sont percés très-perpendiculai-
« rement ; au fond l'on trouve du sable comme celui du Nil.
« Un fait matériel qui me fortifie le plus dans mon opinion
« sur le cours d'eau souterrain, c'est que j'ai nettoyé une
« fontaine, à la profondeur de 325 pieds, qui me donne du
« poisson pour ma table. Tous les bois des anciennes fon-
« taines sont pourris.... » Suivant M. Ayme on traverse les
couches suivantes :

Terre végétale.	25 mèt.
Argile.	
Marne.	
Argile marneuse.	
Calcaire.	100 mèt.

Et alors on arrive au courant d'eau.

Polybe rapporte que les Perses, après avoir conquis l'Asie,

accordèrent des terres à ceux qui faisaient surgir des sources, et que, par cette mesure, ils parvinrent à réparer les désastres suites inséparables de la conquête.

Des déserts de la Syrie et de l'Arabie possèdent des fontaines antiques qui ont conservé les noms de leurs fondateurs ; ainsi les fontaines d'Ismaël, de Bethsabée, de l'Abondance, du Jurement, de l'Injustice, sont connues encore aujourd'hui sous ces noms mentionnés dans la Bible.

Il existe aujourd'hui encore dans la mosquée de la Mecque, au-dessous de l'édifice destiné à la prière de la secte orthodoxe de Chafy, un puits dit de Zemzem, dont l'ange Gabriel, suivant la tradition, fit jaillir la source pour étancher la soif d'Agar et d'Ismaël errants dans le désert. Ce puits fut comblé pendant quinze siècles, et ne fut découvert que par le grand-père de Mahomet.

Les eaux de Zemzem, réputées saintes, servent aux musulmans, soit pour se purifier, soit pour se désaltérer. En quittant la Mecque, ils en emportent quelques bouteilles pour en verser ensuite quelques gouttes dans l'eau ordinaire qu'ils boivent pendant leur pèlerinage.

Diodore, évêque de Tarse, mort vers 390, nous a laissé sur la grande oasis située dans le désert, à une quarantaine de lieues de l'Égypte, la description suivante qui montre bien clairement que, de son temps, cette contrée tenait sa fertilité des puits qu'on y avait creusés.

« Pourquoi, dit-il, la région intérieure de la Thébaïde, qu'on
« nomme oasis, n'a-t-elle ni rivière ni pluie qui l'arrosent,
« mais n'est-elle vivifiée que par le courant de fontaines qui
« sortent de terre, non d'elles-mêmes, non par des eaux plu-
« viales qui pénètrent dans la terre et qui en remontent par ses

« veines, comme chez nous, mais grâce à un grand travail des
« habitants? Serait-ce l'indice que ces lieux qui produisent des
« fontaines de ce genre, des fontaines qui donnent naissance
« à de vrais fleuves d'une eau aussi douce que limpide, sont
« dominés par des montagnes? Mais non, ces vastes plaines
« sont très-éloignées des montagnes, sont tout à fait unies,
« entièrement privées d'eau, ou tout au moins ne renferment
« qu'une très-petite quantité d'une eau lourde et salée qui ne
« jaillit point du sein de la terre, mais qui se trouve dans
« des creux et qui ne suffirait pas pour étancher la soif pen-
« dant tout l'été. »

Photius, qui a conservé ce curieux passage de l'évêque de Tarse, en cite un autre moins ancien, mais peut-être plus intéressant en ce qu'il est d'un historien né et élevé dans l'oasis : c'est un passage d'Olympiodore vivant au v[e] siècle, qui dit que dans son pays natal on creuse des puits à 200 et même 500 coudées de profondeur (92 à 230 mètres), puits de l'orifice desquels s'échappe un courant dont les habitants se servent pour l'irrigation de leurs champs ; il ajoute que ces torrents souterrains charient quelquefois à la surface des poissons, et Niebuhr, qui raconte le même fait, prétend qu'Olympiodore florissait à Alexandrie vers le milieu du vi[e] siècle. Il y aurait là une erreur d'un siècle environ. Quoi qu'il en soit, on est certain de l'existence d'un grand nombre de puits jaillissants dès les premiers siècles de l'ère chrétienne, puisque, déjà à cette époque, les oasis de l'Égypte jouissaient d'une grande réputation de fertilité.

Cette industrie et les procédés appliqués à leur recherche ont été conservés en Afrique, où on les voit encore aujourd'hui pratiqués sur un certain nombre de points.

Voici différents récits à ce sujet tirés des auteurs les plus dignes de foi :

« Dans ce pays (Tikourarin) du Sahara, dit Ibn Kaldoun « (deuxième vol., pag. 81, ligne 17), jusqu'au delà de l'Irâk « de l'Ouest, il jaillit de l'eau courante qu'on ne trouverait « pas dans le Tell de l'Ouest. Ceci s'obtient en creusant des « puits d'une très-grande profondeur, dont les parois sont « soutenues par une maçonnerie. On arrive à une pierre très- « dure; on diminue son épaisseur au moyen de marteaux et « de pioches ; lorsqu'elle est amincie, le travailleur remonte « et la frappe avec un morceau de fer jusqu'à ce qu'elle se « brise en livrant passage à l'eau ; l'eau monte, remplit le puits, « et coule à la surface de la terre comme une rivière ; au dire « des habitants, il n'y aurait rien de plus prompt que l'eau.

« Cette merveille se rencontre dans le Gessar du Touât, à « Ouerkla et dans le Righ.

« Dans ce monde, le possesseur des miracles c'est Dieu, le « créateur et le savant. »

Vers 1663, El-Aïachi, au retour de son voyage à Ouargla, racontait ce qui suit sous le titre de :

Singularité des singularités de la ville de Ouargla.

« Pour que l'eau sorte avec force, ils creusent des puits à « environ 50 k'ama (k'ama est une brasse ou $1^{m},65$), profon- « deur à laquelle ils atteignent une marne qu'on appelle *h'adje- « ramous'fah* ou pierre plate, laquelle se trouve à la surface « du noyau de la terre. Ils font un trou à cette couche et l'eau « en jaillit aussitôt avec force et abondance; en moins de rien, « elle arrive à l'ouverture du puits, d'où elle coule et forme « un ruisseau. Si celui qui pratique le trou n'est pas attentif,

« il est étouffé par la colonne d'eau. Ceux qui nettoient ces
« sortes de puits ont de grandes difficultés à surmonter et
« des dangers à courir ; souvent même la violence du mou-
« vement d'ascension empêche de le curer. Alors le trou finit
« par se boucher. Un de mes amis qui a vu nettoyer de ces
« puits m'a informé d'une chose fort singulière : c'est que
« les sources de l'Ouad-R'ir ont cette origine.

« Le Wad-Reay, dit le voyageur Shaw, est un amas de vil-
« lages situés fort avant dans le Sahara. Ces villages n'ont ni
« sources, ni fontaines ; les habitants se procurent de l'eau
« d'une façon fort singulière : ils creusent des puits à 100 et
« quelquefois à 200 brasses de profondeur, et ne manquent
« jamais d'y trouver de l'eau en grande abondance. Ils en-
« lèvent pour cet effet diverses couches de sables et de gra-
« viers, jusqu'à ce qu'ils trouvent une espèce de pierre qui
« ressemble à de l'ardoise, et que l'on sait être précisément
« au-dessus de ce qu'ils appellent *bahar taht el erd*, ou la *mer*
« *au-dessous de la terre*. Cette pierre se perce aisément ; après
« quoi l'eau sort si soudainement et en si grande abondance,
« que ceux qu'on a fait descendre pour cette opération en sont
« quelquefois suffoqués, quoiqu'on les retire aussi prompte-
« ment que possible. »

Pendant l'hiver de 1855 à 1856 le général Desvaux, com-
mandant la subdivision de Batna, et le maréchal Randon, gou-
verneur de l'Algérie, résolurent de mettre à exécution le
projet formé, dès le commencement de notre établissement sur
les frontières du Sahara, par M. Fournel, ingénieur des mines,
de relier Biskra avec les oasis de l'Ouad-R'ir par une série de
puits intermédiaires. Ce projet, longtemps ajourné, fut repris
le jour où notre domination put s'étendre sur toute la contrée

saharienne, constater l'état de dépérissement des oasis par l'extinction des anciens puits arabes, et entreprendre de rattacher à la France ces malheureuses populations par la reconnaissance. L'un de nous fut chargé de se joindre à une expédition dans le Sud, qui devait parcourir les Zibans, l'Ouad-Souf et l'Ouad-R'ir, afin de reconnaître exactement les terrains, les chances diverses que l'on devait courir et les modifications nécessaires aux équipages de sondes que l'on devait transporter et faire fonctionner dans ces contrées lointaines. Nous eûmes donc occasion de voir et d'examiner les méthodes arabes. Comme elles sont les mêmes dans tout le Sahara oriental, nous prendrons comme exemple l'un des premiers puits que nous avons vu dans l'oasis de Mégarin (*fig.* 1) arrosée par plusieurs puits jaillissants creusés par les Arabes, ou plutôt par des noirs qui semblent avoir monopolisé cette industrie.

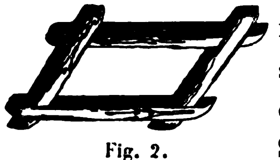

Fig. 2.

Fig. 1.

Le fonçage de ces puits, dont la profondeur varie entre 45 et 80 mètres, se fait au moyen des instruments les plus grossiers : ordinairement une petite pioche à manche court. Ils présentent généralement une excavation carrée de 60 à 90 centimètres de côté, rarement

plus; ils sont boisés en palmier refendu longitudinalement, et présentent des fragments assez semblables à notre bois de chauffage. A peine équarris et assemblés à mi-bois, ils constituent des cadres grossiers, plus ou moins jointifs, placés horizontalement (*fig.* 2). On remédie au mauvais ajustage de ces cadres entre eux au moyen d'un corroi d'argile mélangée avec des noyaux de dattes et autres matières ligneuses du palmier, qui, glissé entre ce coffrage et les terrains, fait un calfatage plus ou moins parfait.

Ce boisage se prolonge dans toutes les parties du puits sujettes aux éboulements. Pour le reste, la roche, ordinairement un gypse terreux, présente assez de solidité pour se maintenir seule.

Les puits sont descendus ainsi jusqu'au point où se trouve, suivant l'expression des Arabes, la mer souterraine, à moins que, dans la partie supérieure, on n'ait rencontré des eaux parasites assez abondantes pour que l'épuisement ait pu avoir lieu avec les faibles moyens dont on dispose dans le pays, ou que l'on n'ait rencontré une roche un peu trop dure pour que les instruments arabes aient pu l'entamer; et ces deux cas sont assez fréquents. Un assez grand nombre de puits annoncent ces défaites de l'industrie des Rouaras (habitants de l'Ouad-R'ir).

Si, au contraire, on a pu arriver sans encombre sur la roche qui recouvre les sables aquifères, laquelle semble être le plus souvent un gypse impur endurci et un peu feuilleté, ou une couche argileuse d'un blanc verdâtre, un homme spécial attaché à une corde descend et fait dans le fond le trou qui doit livrer passage à l'eau, laquelle, dans bien des cas, s'élance par cet orifice avec assez de force pour rouler et

asphyxier le malheureux ouvrier qui s'est chargé de l'opération et que l'on ne peut toujours remonter assez vivement.

L'eau s'élève dans le puits avec une vitesse plus ou moins grande; mais rarement sa force ascensionnelle suffit pour qu'elle se déverse au-dessus du sol avec les sables qu'elle tient en suspension. Cette eau, surgissant du fond du puits par un orifice moins grand que le puits lui-même, change de vitesse; la pression, augmentant à mesure de son élévation, vient modifier son allure et provoque un ensablement plus ou moins considérable, puisqu'il atteint une hauteur de 25 à 30 mètres, qu'il faut enlever, au moins en partie, pour que la source puisse s'épancher à la surface du sol et y prendre un écoulement constant. Ce sont des plongeurs qui retirent ces sables; mais nous avons la conviction qu'aussitôt que leur masse devient assez faible pour que l'eau puisse la traverser et couler au sol avec un peu d'abondance, ils cessent ce travail, qui, déjà si difficile et périlleux, doit leur devenir impossible par suite du courant ascensionnel qui s'établit.

C'est à Mégarin que nous avons eu pour la première fois l'occasion de voir ces plongeurs; ils désensablaient un puits qui est la propriété du marabout Si-el-Mennouar. La profondeur totale était de 55 mètres; les sables l'avaient obstrué jusqu'à 35 mètres; 10 mètres avaient déjà été extraits : c'est donc à 45 mètres qu'ils opéraient au moment où nous les avons vus. L'eau était dormante, avait une température de 16 à 17 degrés centigrades et dégageait une forte odeur d'hydrogène sulfuré.

Au-dessus de l'ouverture du puits, qui présentait une section de 80 centimètres de côté, deux montants en palmier

supportaient une traverse du même bois portant une encoche produite par l'usure d'une corde faite avec la matière textile de ce même arbre. Cette corde sert à remonter et descendre le coufin ou panier que le plongeur doit remplir de sable. Ce n'est qu'à Tuggurt que nous avons vu une petite molette en bois faisant l'office de poulie.

La corde qui descend ce panier est amenée, pendant cette opération, le long de la paroi du puits opposée à celle où se trouve attachée à l'un des poteaux une seconde corde qui sert de signal et qu'un poids assez lourd fixe au fond. Cette seconde corde sert également à aider les plongeurs dans leurs manœuvres descendantes et ascendantes.

Près de l'ouverture du puits se trouve un feu assez vif où ces plongeurs, la plupart phthisiques et abrutis par l'abus du kif (espèce de chanvre indien qu'ils fument), se chauffent fortement et avec le plus grand soin tout le corps avant d'entreprendre leur descente. Leurs cheveux sont rasés et leurs oreilles seules sont bouchées avec du coton imprégné de graisse de chèvre (dit-on).

Ainsi chauffé et préparé, l'homme dont le tour de faire le plongeon est arrivé descend dans le puits et entre dans l'eau jusqu'au-dessus des épaules. Assujetti dans cette position au moyen des pieds, qu'il fixe aux boisages, il fait ses ablutions, quelques prières, puis tousse, crache, éternue, se mouche, amène sa bouche au niveau de l'eau, fait une série d'aspirations et d'expirations assez bruyantes, et enfin, tous ces préparatifs terminés (ils durent au moins devant les étrangers une dizaine de minutes), il saisit la corde et semble se laisser glisser. Arrivé au fond, à l'aide des mains, ou plutôt d'une main, il remplit le panier qui l'y a précédé. L'opération

faite, il ressaisit sa corde des deux mains et remonte. Il est probable que souvent il est obligé de s'aider de cette corde ou du poids qui y est fixé pour se maintenir au fond, ayant à vaincre une force ascensionnelle qui tend à le ramener à la surface. Tout plongeur connaît cet effet, et, s'il est encore augmenté par un certain mouvement ascensionnel de l'eau, on comprend que l'on doit éprouver quelques difficultés à se maintenir dans une position stable qui permette d'accomplir ce travail.

Quelquefois il arrive que le plongeur est suffoqué, soit avant d'arriver au fond, soit pendant son travail, soit pendant qu'il accomplit son ascension pour revenir au jour. Un de ses camarades qui, tout le temps que dure l'opération, tient attentivement, à sa sortie de l'eau, la corde servant de direction et de signal, averti, par quelques mouvements ou secousses imprimés à la corde, du danger que court le patient, se précipite à son secours, tandis qu'un autre le remplace à son poste d'observation, qu'il quitte aussi à un nouveau signal pour aller au secours de ses deux confrères, ainsi que nous l'avons vu. Trois plongeurs se trouvaient donc ensemble; deux ayant réclamé du secours dans ce puits de dimensions si restreintes, cette grappe humaine est revenue à la surface, le premier descendu en dessus et le dernier en dessous.

Le premier mouvement de ceux qui ont été secourus est d'embrasser le sommet de la tête de leur sauveur en signe de reconnaissance. Il est à remarquer que ceux qui plongent au secours de leur confrère le font instantanément, sans se préoccuper des préparatifs si minutieux pratiqués par le premier descendu.

Sur six plongeurs successifs réunis autour de ce puits, la

durée de chaque immersion a varié entre deux minutes, la plus prompte, et deux minutes quarante secondes, la plus longue. M. Berbrugger dit avoir observé cinq minutes cinquante-cinq secondes; plusieurs officiers supérieurs, qui étaient présents avec nous à l'opération, nous ont affirmé avoir vu l'année précédente rester trois minutes. On remarquera que la profondeur du puits n'était à ce moment que de 45 mètres, que l'eau était dormante, que, sur six plongeurs, deux ont réclamé le secours, et que le résultat de leur travail fut deux coufins de sable pouvant contenir 8 à 10 litres. Que doit-il donc se passer lorque le puits a 80 mètres et que l'eau a un écoulement, quelque léger qu'il soit?

Chaque plongeur doit être à jeun, et cette observation est rigoureuse, sous peine de grands dangers. Cela se comprend, d'ailleurs, avec la pression qu'ils ont à supporter. Leur journée comporte pour chacun d'eux quatre voyages, soit donc 40 litres au maximum de sable extrait.

Lorsque la journée de ces hommes fut terminée, nous fîmes descendre devant eux et au bout de leur corde une soupape à boulet que nous avions fait exécuter dans les ateliers du génie de Biskra, avec un bout de tube assez mince, une bombe pour soupape ayant son siége en bois. Cet instrument, assez imparfait, nous a cependant suffisamment réussi pour démontrer aux habitants et aux plongeurs que cette industrie si périlleuse pouvait facilement être remplacée par des moyens simples et beaucoup moins coûteux, car chaque voyage de cette soupape à boulet, bien que trop légère, ramenait au sol une quantité de sable plus considérable qu'un plongeur, et cela toutes les sept minutes, sans interruption.

Nous donnerons de plus amples détails sur les beaux résul-

tats de la sonde au Sahara oriental au chapitre des *Applications de la sonde.*

La Chine connaît aussi les puits forés. On trouve dans les *Lettres Édifiantes* une lettre de l'évêque de Tabrasca, missionnaire en Chine, qui parle ainsi des puits forés de Ou-Tong-Kiao : « Ces puits sont percés à plusieurs centaines de pieds de « profondeur, très-étroits et polis comme une glace ; mais je « ne vous dirai pas par quel art ils ont été creusés ; ils servent « pour l'exploitation des eaux salées. » Un autre missionnaire, l'abbé Imbert, a donné depuis sur les sondages chinois des renseignements plus étendus, rédigés avec plus de bonne foi que de discernement ; en voici la substance :

« Il existe dans le canton de Ou-Tong-Kiao plusieurs mil- « liers de puits dans un espace de dix lieues de long sur cinq « de large. Chaque puits coûte mille et quelques cents taëls « (le taël vaut 7 fr. 50 c.). Ces puits ont de 15 à 1,800 pieds « de profondeur sur un diamètre de 5 à 6 pouces. »

Ces puits dégagent presque tous beaucoup d'*air inflammable ;* il y en a même qui ne fournissent rien autre chose que ce gaz ; on les appelle puits de feu. Il paraît que les Chinois emploient, comme combustible, ce gaz, qui n'est sans doute autre chose que l'hydrogène carboné, provenant de mines de houille en combustion. S'il fallait en croire M. Imbert, qui s'est probablement trompé dans son calcul, quelques-uns de ces puits auraient jusqu'à 3,000 pieds de profondeur. Nous reviendrons sur ce sujet à l'article *Sondages à la corde.*

Si nous passons en Europe nous trouvons l'usage des puits artésiens répandu dès le commencement des temps modernes dans le nord de l'Italie, comme l'attestent les armes de la ville de Modène, deux tarières de fontainier avec cette épigraphe :

Avia pervia. Un professeur au lycée de médecine de cette ville publia, en 1691, un traité de physique dans lequel on trouve des renseignements intéressants sur la nature des terrains, sur les cours d'eau, sur l'origine des fontaines jaillissantes, sur la manière de percer les puits à l'aide de la sonde, *terebratio*, enfin sur l'excellente qualité des eaux que rencontre le perceur de ces puits, *terebrator puteorum*. Avant son arrivée en France, c'est-à-dire vers le milieu du dix-septième siècle, Dominique Cassini avait fait construire, au fort Urbain, un puits foré dont l'eau jaillissait jusqu'à 15 pieds au-dessus du sol. Quand cette eau se trouvait maintenue dans un tube, elle montait au sommet des maisons. Cassini s'efforça de faire connaître en France les procédés dont il avait appris à faire usage dans sa première patrie. « Dans quelques endroits du territoire de Modène et de Bologne, dit-il, pour avoir des jets d'eau même « des puits les plus profonds, on creuse la terre jusqu'à ce « qu'elle paraisse gonflée par la force de l'eau qui coule et « qui presse par-dessous. Alors on construit un double revê- « tissement dont on remplit l'entre-deux d'un corroi de glaise « bien pétrie. On continue ensuite à percer plus bas, en suivant « le revêtissement jusqu'au moment de percer la source. Alors « on perce le fond avec une longue tarière qui donne issue à « l'eau. La tarière étant retirée, l'eau sort avec impétuosité; « elle remplit le puits en entier, et par son écoulement continu « elle sert à arroser toutes les campagnes voisines : peut-être « ces eaux viennent-elles par des canaux souterrains du haut « du mont Apennin qui n'est qu'à dix milles de ce territoire. »

Cassini ajoute que dans la basse Autriche, qui est environnée des montagnes de la Styrie, les habitants se procurent de l'eau à peu près de la même manière.

La première mention imprimée qui ait été faite des puits forés en France se trouve dans le traité de Belidor (*la Science des ingénieurs*), livre qui parut en 1729 : « Il se fait, dit Beli-
« dor, une sorte de puits appelés *puits forés*, qui ont cela de
« particulier que l'eau monte d'elle-même à une certaine hau-
« teur, de sorte qu'il ne se faut donner aucun mouvement
« pour l'avoir, que la peine de puiser dans un bassin qui la
« reçoit. Il serait à souhaiter que l'on en pût faire de sem-
« blables en toutes sortes d'endroits, ce qui ne paraît pas pos-
« sible parce qu'il faut des circonstances du côté du terrain
« qui ne se rencontrent pas toujours. »

Mais, à défaut de textes, les anciens puits forés de l'Artois, qui subsistent encore aujourd'hui, témoignent que l'emploi de la sonde est connu chez nous depuis longtemps. Le plus ancien puits connu en France est, dit-on, de 1126; il existe à Lillers, en Artois, dans l'ancien couvent des Chartreux. Les sondages se font dans ce pays avec une grande facilité et peu de dépense; aussi, du côté de Carvin et dans toute la plaine, en trouve-t-on un ou plusieurs devant chaque maison de paysan; cette grande facilité d'exécution a été en partie cause de la routine dans laquelle les sondeurs du pays ont persévéré. Ils n'ont rencontré quelques difficultés que lorsqu'ils ont commencé à être appelés à travailler dans les départements du Nord et de la Somme.

En 1824, M. Péligot fit exécuter à Enghien le premier puits artésien dans le département de la Seine. En 1828, MM. Flachat frères obtinrent les premières eaux jaillissantes de la base des terrains tertiaires dans leurs forages de Saint-Ouen. Ce résultat obtenu à 67 mètres de profondeur eut un grand retentissement. En 1830, l'un de nous avait, à Tours, le bonheur

de traverser le premier la craie et de trouver dans les sables verts de la glauconie des eaux jaillissantes de 140 mètres de profondeur. Depuis, les sondages se sont multipliés et ont pris un grand développement basé sur une théorie rationnelle et l'application de moyens mécaniques variés suivant les terrains à forer et les difficultés à surmonter.

CHAPITRE II

PRÉCIS GÉOLOGIQUE

INTRODUCTION. — Définition et but de la géologie. — Origine présumée de la terre; développements successifs de sa masse; apparition des plantes et des animaux, leur rôle. — Soulèvements, dislocation de l'écorce terrestre. — Pouvoir magnétique. — Température intérieure de la terre, des eaux de sources, des mers, des lacs et de la surface du sol.

COMPOSITION DU SOL. — Minéraux, roches, fossiles. — Structure générale de l'écorce solide du globe. — Principes de division des terrains.

APPLICATION DES CONNAISSANCES GÉOGNOSTIQUES A L'EXPLOITATION DES SUBSTANCES UTILES. — Ce que l'on doit entendre par bassin géologique. — Des puits artésiens. — Aspect général des bassins géologiques secondaires et tertiaires en prenant spécialement pour type le sol de la France. — Gisements habituels des combustibles, des sels gemmes qui peuvent être recherchés par des sondages.

La géologie, science presque nouvelle, si on la considère comme corps de doctrines positives, a pour but l'histoire générale et particulière de la terre; elle recueille, coordonne et résume tous les éléments que le monde physique et naturel renferme.

Cette science, après être passée par trois époques successives, qualifiées par Constant Prévost, la première, d'époque d'erreur, la seconde, d'époque de système conjectural, et la troisième, d'époque philosophique, semble enfin être arrivée,

à l'aide des autres sciences, à sa dernière période, c'est-à-dire au rang de science exacte. Cette heureuse transformation a eu lieu dès que des hommes consciencieux, renonçant aux théories systématiques, se sont occupés des faits produits et de les coordonner entre eux. Autour de ces faits déjà acquis, viennent aujourd'hui se grouper une foule de nouvelles observations qui toutes s'accordent avec la théorie admise, s'y classent et démontrent clairement que l'édifice scientifique repose sur une base solide.

Nulle autre science, peut-être, n'offre plus d'attrait et un champ plus vaste d'observations que la géologie; se liant à presque toutes les autres par les emprunts qu'elle leur fait, elle leur fournit beaucoup de données nouvelles, et permet de résoudre des questions restées obscures jusqu'alors. En effet, la terre peut être étudiée par la physique comme corps, dans sa forme, ses dimensions, son volume, sa densité, son pouvoir magnétique, sa chaleur propre et son mouvement; par l'astronomie, pour ses relations avec les autres astres, sa place et son rôle dans le système de l'univers. La météorologie et la climatologie examinent le jeu des éléments, leur action comme agents de reproduction ou de destruction. La géologie, la géognosie, la minéralogie et la paléontologie l'étudient pour son origine, son âge, sa structure, la répartition géographique des terrains, sa composition minérale, l'histoire des êtres organisés, et leur apparition successive jusqu'à l'homme.

Considérant seulement la terre au point de vue des éléments qu'elle renferme, de la manière dont ils sont disposés, de leur ordre de succession ou de gisement, la géologie, plus que toutes les autres sciences, est appelée à fournir d'utiles et indispensables secours; car ceux de ces éléments que l'homme

recherche, qu'il façonne à ses besoins, qu'il exploite au profit de son industrie, sont en petit nombre disséminés et souvent confondus dans la masse, infiniment plus considérable, de tous les autres. Comment les reconnaître? En quel lieu, en quel point précis les rencontrer? La géologie peut seule enseigner les moyens de résoudre ce problème; car son but, avant tout, est précisément de reconnaître et de distinguer. Avec elle, nous étudierons en détail la composition et la structure intérieure de la terre; nous suivrons attentivement dans le temps et dans l'espace la disposition et l'ordre de superposition des masses qui la constituent, et ces connaissances une fois acquises, il nous deviendra plus facile de préciser les recherches qui font l'objet spécial de ce travail, et d'appliquer à leur découverte les moyens qui s'offriront à notre choix.

Mais avant de passer directement à l'étude géognostique de la terre, qu'il nous soit permis de reprendre un peu plus haut son histoire, et de remonter autant que possible jusqu'à son origine. Cette digression sera utile pour mieux juger des phénomènes qui ont présidé à sa formation, et pour bien comprendre les rapports de succession et de structure générale des masses qui en constituent l'écorce solide.

On admet généralement aujourd'hui, qu'à son origine, la terre lancée dans l'espace était dans un état de mollesse et de fluidité incandescente qui résultait de la fusion ignée de toute sa masse. En vertu de cette mollesse, et sous l'influence de la force centrifuge développée par son mouvement de rotation, elle a dû prendre la forme sphéroïdale qu'elle présente aujourd'hui, et qui serait aussi celle que prendrait toute masse fluide comme elle, douée du même mouvement. La forme de la terre est donc celle d'une sphère aplatie vers les pôles, et ren-

flée à l'équateur. Le rayon partant du centre à l'équateur a 6,376,851 mètres, tandis que celui du centre au pôle n'a que 6,355,943 mètres; il en résulte que la terre est aplatie aux pôles de 20,908 mètres, quantité qui est exactement celle qu'exigeaient les lois de la physique, avant qu'on ait pu là mesurer exactement par des observations directes.

L'état de fluidité primitive de la terre n'a pas été permanent, et a dû passer par des circonstances de refroidissement qui l'ont modifiée en transformant une partie de sa masse. Le résultat immédiat de ce refroidissement a été la formation d'une première croûte consolidée qui l'a enveloppée tout entière, s'épaississant de plus en plus de la circonférence au centre, en vertu des effets de cristallisation des parties encore libres dans la masse et de leur réunion à celles déjà rapprochées. Ce phénomène continue encore, et chaque jour l'enveloppe terrestre augmente d'épaisseur; on l'évalue aujourd'hui à vingt-cinq ou trente lieues métriques.

Cette première pellicule, par suite de l'abaissement graduel de sa température, s'est contractée; elle a comprimé l'intérieur encore liquide de la masse, qui, réagissant sur cette enveloppe encore faible, l'a brisée. C'est ainsi que se sont produites ces nombreuses fractures par lesquelles les matières intérieures, poussées au dehors, se sont épanchées à la surface où elles ont formé les premiers reliefs.

A cette époque, un grand nombre de matières qui constituent aujourd'hui l'écorce solide étaient suspendues à l'état de gaz ou de vapeurs dans l'atmosphère, ainsi que la masse totale des eaux qui recouvrent aujourd'hui la surface. Or le refroidissement continuant, il arriva un moment où l'élément liquide commença à se condenser et à se précipiter à la sur-

face de l'enveloppe solide, entraînant avec lui toutes les autres matières tenues à l'état de vapeurs, qui contribuèrent ainsi puissamment à la formation de la croûte solide par l'addition de nouvelles parties venues de haut en bas. Ces premiers effets une fois produits furent en quelque sorte les rudiments et le signal des effets analogues subséquents qui ont achevé la formation de l'écorce solide.

Les eaux provenant de la condensation des vapeurs qui tenaient jusqu'alors le globe dans une obscurité plus ou moins complète, après avoir ruisselé à la surface du sol, se retirèrent dans les bas-fonds et les anfractuosités qui y existaient; elles se partagèrent par bassins limités et circonscrits, et commencèrent immédiatement à agir sur les roches voisines; les mouvements fréquents et plus ou moins violents qui agitaient la masse solide favorisaient considérablement cette action. De nombreux fragments de toute sorte étaient violemment arrachés aux bords environnants, entraînés au loin, triturés, amoindris et rassemblés sur des fonds plus tranquilles; c'est à partir de cet instant que se formèrent les premiers dépôts aqueux ou stratifiés.

Le monde organique ne tarda pas à paraître sur cette terre devenue habitable, où le sol, les eaux et une température convenable offraient désormais les conditions nécessaires à l'existence d'êtres animés. Le règne végétal eut probablement le premier des représentants sur ce sol nouveau; une végétation active absorba l'acide carbonique encore en excès dans l'atmosphère, et rendit l'air respirable aux premiers animaux qui vinrent alors en grand nombre à la fois, si l'on en juge par les débris qu'ils ont laissés au sein des couches dont la formation date de cette époque. Ces premiers représentants des espèces ani-

males qui peuplaient les mers ou les terres émergées étaient encore bien imparfaits; ce n'est qu'à mesure que l'on se rapproche des couches les plus récentes que l'on voit l'organisation se développer, se compléter; aux animaux à sang froid, mollusques, poissons, reptiles, se joignent successivement ceux à sang chaud, les oiseaux, les mammifères; l'homme apparaît à la fin de la dernière période.

Depuis les premières époques de l'origine du globe, les révolutions se sont succédé à sa surface; de nombreux paroxysmes ont violemment agité sa masse à diverses reprises; le sol fracturé, brisé sur plusieurs points, a vu fréquemment apparaître au dehors des matières sorties avec effort de son centre agité; les reliefs de la surface ont changé, les mers ont quitté leur lit, ont franchi leurs limites; les roches ignées ont recouvert sur plusieurs points les matériaux d'origine sédimentaire; ceux-ci se sont déposés de nouveau sur les masses qui avaient enveloppé leurs premiers représentants; l'horizontalité et la direction des couches ont été troublées; les êtres organisés se sont rapidement succédé en changeant de races jusqu'au moment actuel, où le repos apparent de la terre n'est peut-être que temporaire et pourrait bien être suivi d'un nouveau cataclysme qui changerait encore une fois le relief du globe. Dans tous les bouleversement successifs se sont produites, suivant les circonstances, les grandes accumulations de végétaux que nous trouvons aujourd'hui transformées en houille, cette grande richesse industrielle des temps modernes. Des grès, des sables, des calcaires ont formé ces massifs inépuisables qui servent à toutes nos constructions. Des réactions chimiques enfin nous ont laissé le gypse, le sel gemme et toutes les substances métalliques.

Les érosions produites par ces cataclysmes n'ont pas concouru seules à modifier la surface du sol, et, ainsi que nous le voyons encore aujourd'hui, certains agents lents, mais continus, ont dû apporter leur tribut à l'œuvre constante de destruction et de reproduction. Les eaux des rivières, sans doute plus fortes et plus rapides alors, transportaient dans les mers ou sur leurs rives les volumineux débris enlevés aux roches qu'elles rencontraient sur leur parcours; des lacs mal endigués rompaient les roches qui les encaissaient, et causaient sur tel ou tel point un nouvel ordre de choses, tandis qu'ils laissaient à sec les couches formées au sein de leurs eaux. La mer dans son mouvement perpétuel sur les falaises les creusait, comme nous le voyons encore de nos jours, en précipitait dans son sein les matériaux qu'elle triturait et mêlait avec d'autres déjà en suspension dans ses eaux et concourait à la formation de couches nouvelles.

Des animaux microscopiques, objets des savants travaux de Ehrenberg, et récemment poétisés par l'éloquente plume de M. Michelet dans son charmant livre, intitulé *l'Insecte*, ont contribué puissamment à former de leurs dépouilles des masses énormes :

« Que sont ces petits des petits? dit-il : Rien moins que les
« constructeurs du globe où nous sommes. De leurs corps,
« de leurs débris, ils ont préparé le sol qui est sous nos pas.
« Que leurs minimes coquilles soient encore reconnaissables,
« ou qu'elles aient, par décomposition, passé à l'état de craie,
« ils n'en sont pas moins notre base dans d'immenses parties
« de la terre. Un seul banc de cette craie, qui va de Paris à
« Tours, a cinquante lieues de longueur. Un autre de largeur
« énorme s'étend sur toute la Champagne. La craie pure ou

« blanc d'Espagne qu'on trouve partout n'est faite que de co-
« quilles en poudre.

« Et ce sont les plus petits qui ont fait les plus grandes
« choses. L'imperceptible rhizopode s'est bâti un monument
« bien autre que les pyramides, pas moins que l'Italie centrale,
« une notable partie de la chaîne des Apennins. Mais c'était
« trop peu encore : les masses énormes du Chili, les prodi-
« gieuses Cordillères qui regardent le monde à leurs pieds,
« sont le monument funéraire où cet être insaisissable et pour
« ainsi dire invisible a enseveli les débris de son espèce dis-
« parue.

. . . .

. . . .

« Ces travaux des imperceptibles constructeurs du globe,
« que les savants admiraient dans les espèces éteintes, les
« voyageurs les ont retrouvés dans les espèces vivantes. Ils ont
« surpris de nos jours même, en activité permanente, ces labo-
« ratoires immenses d'êtres invisibles en eux-mêmes ou d'une
« impuissance apparente, mais d'efficacité sans bornes, à ju-
« ger par ses résultats. Ce que la mort fit pour la vie, la vie
« elle-même le raconte. Nombre de petits animaux sont par
« leurs œuvres actuelles les interprètes, les historiens de leurs
« prédécesseurs disparus.

« Ceux-ci comme ceux-là, de leurs constructions ou de
« leurs débris, élèvent des îles dans la mer, des bancs im-
« menses de récifs qui, reliés peu à peu, deviendront des
« terres nouvelles. Sans aller bien loin, en Sicile, parmi les
« madrépores qui en couvrent les côtes déchirées par les
« feux souterrains, un petit animal, le vermet, a fait un tra-
« vail que l'homme n'eût jamais osé entreprendre. Il avance,

« en protégeant son corps mou d'une enveloppe de pierre,
« qu'il va sécrétant sans cesse. Continuant, développant ces
« tubes qui successivement l'abritèrent, il remplit parfaite-
« ment les vides que laissent entre eux les madrépores ou les
« coraux, comble l'intervalle entre les récifs, jette de l'un à
« l'autre des ponts qui les font communiquer; enfin il crée
« une voie dans les passes jusqu'ici impossibles. Avec le temps
« ce constructeur aura accompli l'œuvre énorme d'un trottoir
« tout autour de l'île, dans sa circonférence de cent quatre-
« vingts lieues.

« Mais c'est spécialement dans l'immensité de la mer du
« Sud que ces travaux se continuent en grand par les polypes
« calcaires, les coraux et madrépores de tout genre. Végéta-
« tion animale qu'on pourrait comparer au travail végétal des
« mousses de la tourbe qui continuent à pousser dans sa par-
« tie supérieure, tandis que les inférieures se transforment et
« se décomposent[1]. »

[1] On lit dans le *Siècle* du 10 janvier 1858 : « Un fait assez curieux,
« qui intéresse la science et la navigation, vient d'être signalé. Le détroit
« de Torrès, situé dans l'Océan équinoxial entre la Nouvelle-Hollande et la
« Papousie, a été de tout temps d'une navigation difficile à cause des nom-
« breux îlots qui le parsèment; mais des passages profonds et indiqués
« sur les cartes permettaient aux plus gros navires de traverser ce bras
« de mer en naviguant avec soin. Des travaux hydrographiques récents,
« exécutés par ordre de l'amirauté anglaise, viennent de faire connaître
« que ces passages étaient envahis par des excroissances madréporiques
« qui rendent désormais la navigation du détroit impraticable pour les
« navires d'un fort tonnage.

« Les polypes calcaires de cette mer croissent avec une telle puissance
« qu'on a calculé que si leur développement suit toujours la même loi, le
« détroit de Torrès pourra, dans vingt ans environ, être intercepté sur
« plusieurs points dans toute sa largeur. Il a 160 kilom. de long sur une

Ces résultats de l'époque actuelle jettent un grand jour sur l'origine d'une grande quantité de dépôts anciens. D'autres phénomènes contemporains nous montrent, sur une échelle un peu réduite, il est vrai, quelques exemples des mouvements qui ont affecté le sol : ainsi les côtes de la Suède s'élèvent sur certains points de leur littoral et s'abaissent sur d'autres; des soulèvements volcaniques assez brusques font encore apparaître de temps à autre des îles au sein des mers, l'île Julia, par exemple, qui surgit en 1831 sur les côtes de la Sicile. Des sources thermales, chargées de matières calcaires, déposent là où elles arrivent au sol les éléments de nouvelles roches; enfin tout tend à démontrer que les causes qui ont agité si profondément la nature jusqu'à présent existent toujours. Les sources thermales, les volcans, les tremblements de terre nous prouvent que la masse incandescente centrale est toujours en travail, et que sa puissance peut encore se révéler avec une certaine énergie.

En examinant les grandes proéminences qui constituent nos principales chaînes de montagnes en France, M. Élie de Beaumont détermina d'une manière complète les époques géologiques de leur origine. Il reconnut que leur parallélisme est généralement un indice de leur contemporanéité, et le relèvement des couches stratifiées qui s'appuient sur elles, l'indication précise de leur âge. En effet, lorsqu'une couche stratifiée se forme, elle est sensiblement horizontale dans le

« largeur très-variable, et qui est, dans certains endroits, de 5 kilom.
« seulement. — En 1606, époque où il fut découvert, le détroit de Torrès
« ne comprenait que 26 îlots; aujourd'hui il en a plus de 150, sans
« compter ceux que les travaux récemment exécutés par l'administration
« ont permis de reconnaître. »

principe; les débris organiques et les fragments de roches préexistantes s'y sont placés dans la position la plus convenable à leur stabilité, c'est-à-dire leur grand axe se rapprochant le plus possible de l'horizontalité. Si donc sur les flancs d'une montagne on rencontre tellè ou telle formation d'origine aqueuse redressée plus ou moins et quelquefois même dans une position verticale, on peut en conclure qu'elle était formée déjà lors du soulèvement de la montagne, et que c'est par ce fait qu'elle a été déplacée. Comme toutes les formations qui existent aujourd'hui n'ont pas été formées subitement, mais qu'elles ont été déposées successivement, ainsi que l'indique la diversité de leur composition minérale et les débris organiques qu'elles renferment, il est évident que si l'une, inférieure, se trouve relevée, tandis que celle qui lui est supérieure est dans sa position naturelle, on doit en conclure que le soulèvement a eu lieu postérieurement à la première et antérieurement à la seconde.

En Europe on reconnaît que ces différents soulèvements, auxquels succédaient des périodes de calme, ont été très-nombreux; il y a quinze ou vingt ans, on en comptait douze, et on les faisait correspondre à une série de douze grandes formations de terrains stratifiés. A mesure que la science marche, ces faits indiqués par la rupture du sol se multiplient; et pour certains géologues, ils atteignent déjà le nombre trente, mais paraissent, il est vrai, sur une échelle beaucoup moins considérable.

Bien que les divisions indiquées par les grands soulèvements puissent sembler assez rationnelles, on est forcé, ignorant encore exactement leur nombre, d'avoir recours à une classification en dehors de ces phénomènes. Nous donnerons plus

loin un tableau synoptique des principales divisions adoptées aujourd'hui ; mais avant de terminer cet aperçu de l'histoire du globe, nous avons quelques mots à dire sur ses phénomènes magnétiques et sa chaleur.

La terre possède un pouvoir magnétique dont tout le monde, à la vue d'une boussole, a pu constater l'effet sur l'aiguille aimantée. Halley l'attribue à un noyau central qui serait doué d'un mouvement particulier et indépendant de celui qu'éprouve le globe lui-même. Jusqu'à présent son hypothèse subsiste, et plusieurs faits concourent à l'appuyer. La déclinaison de l'aiguille aimantée est sujette à des variations distinctes : les unes sont diurnes, les autres annuelles, dépendant des différentes positions de la terre relativement au soleil; enfin d'autres auraient lieu à des distances de temps considérables par des causes encore assez hypothétiques.

La chaleur propre de la terre a été rendue évidente par les belles expériences de M. Cordier qui démontrent que la température, à mesure que l'on s'enfonce dans le sol, s'élève de 1° centigrade environ par 25 mètres de profondeur. Si donc on pouvait, par certains travaux, pénétrer jusqu'à 2,000 mètres dans l'écorce du globe, la température devrait être celle de l'eau bouillante, et, suivant la même progression, on peut augurer qu'à 15 myriamètres elle serait suffisante pour fondre la plus grande partie des roches connues. Il est permis de se demander où est la limite de cette augmentation de chaleur. Quoi qu'il en soit, on peut énoncer ce fait : que notre globe jouit d'une température qui lui est propre et qui est complétement indépendante des rayons solaires.

Fourier a fait à ce sujet des calculs qui indiquent que la chaleur centrale n'influe plus aujourd'hui sur la surface du

globe que d'une quantité très-minime, qu'il évalue à moins d'un trentième de degré. Ce trentième de degré de chaleur fourni par voie de rayonnement à la température de l'atmosphère est si constant depuis un grand nombre d'années, que l'on suppose qu'il faudrait quatre-vingt mille ans pour qu'il s'abaissât à un soixantième.

Il est bien entendu que les calculs dont il est question ont été fondés sur des localités où le sol a une épaisseur normale et éloignées de volcans en activité ou d'une extinction récente.

La température des eaux de sources semble suivre la même loi que celle du sol, ou au moins s'en rapprocher beaucoup. Cette loi a été parfaitement observée par M. Walferdin à l'aide de ses ingénieux thermomètres à déversoir. Au puits de Grenelle, la progression a été reconnue être de 1° pour 30ᵐ.87 de profondeur, en partant de la température constante des caves de l'Observatoire de Paris, qui est de 11°.7; dans un puits foré dans la craie, à Saint-André (Eure), de 1° par 30ᵐ.95. Les forages de Rouen ont indiqué un accroissement de température de 1° par 20ᵐ.15, et de 1° par 23 mètres; l'un d'eux donnait une eau minérale très-chargée de chlorure de sodium. A Meaux, à Alfort près Paris, les puits ont donné un accroissement de température uniforme dû à l'analogie des couches aquifères.

Des expériences ont été faites aussi sur la température des grandes masses d'eau qui couvrent aujourd'hui environ les deux tiers du monde; leurs résultats ont été en sens inverse de ceux fournis par le sol et ont présenté des chiffres très-variables, suivant les latitudes où ils ont été obtenus. L'eau, par ses différences de densité suivant sa température, vient elle-même modifier les calculs. (La plus grande densité de l'eau

ayant lieu à 3 ou 4°, elle devrait donc, dans cette condition, occuper les régions les plus basses.) Peron a reconnu que sous l'équateur la température de la surface de l'Océan est de 31°; qu'à une profondeur de 300 mètres, elle est de 9° 1/2, e à 700 mètres, de 7° 1/2. Le capitaine Sabine, sous le vingtième degré de latitude, a trouvé à la surface de la mer une température de 28°, tandis qu'à 2,000 mètres elle était encore de 7° 1/2.

Saussure, dans les lacs de la Suisse, a trouvé à la surface 20° à 25° et au fond, 4° à 7°.

A la surface du sol, la température est assujettie à des variations très-grandes, dépendant de l'état de l'atmosphère que les rayons solaires ont à traverser, de la position des lieux observés par rapport au soleil, de leur plus ou moins grande élévation, de leur voisinage des mers, de la nature des roches, de leur couleur, de la végétation, etc. Au niveau de la mer elle est, sous l'équateur, de 27°, et continue à s'abaisser à mesure que l'on s'avance vers les pôles, où elle descend entre 18 et 40° au-dessous de zéro d'après les calculs de Fourier. Suivant les latitudes elle varie aussi avec la hauteur verticale où on l'observe ; ainsi la limite des neiges perpétuelles est à 4,800 mètres sous l'équateur; sous le vingtième degré, à 2,550, et sous le soixante-deuxième degré à 1,750 mètres. Bien des causes accidentelles modifient plus ou moins ces chiffres dans chaque localité ; aussi ne doit-on les accepter que comme des généralités. Ainsi que nous l'avons dit, la couleur du sol influe beaucoup sur la température; les habitants de la vallée de Chamounix, en répandant sur le sol des schistes argileux noirs, hâtent de plusieurs jours le moment de la fonte des neiges sur les terrains qu'ils veulent soumettre à une culture précoce.

On comprendra que pour la même raison le sol nu ou couvert de végétation influe sur ce phénomène. Ces considérations générales sur l'histoire première de la terre nous suffiront pour l'intelligence des faits que nous aurons à examiner dans le cours de cet aperçu. Ce qui nous importera le plus dorénavant, ce sera de chercher à bien connaître la composition, la structure et l'ordre de succession chronologique des masses minérales dont elle se compose.

COMPOSITION DU SOL.

Les matériaux qui constituent l'écorce solide de la terre peuvent être classés, eu égard à leur nature et à leur composition, sous les principaux chefs suivants : *minéraux*, *roches*, *fossiles*.

MINÉRAUX.

On a défini un minéral : tout corps naturel inorganique que l'on rencontre dans l'intérieur de la terre ou à sa surface, ayant une composition chimique définie, et une forme plus ou moins régulière.

La forme régulière des minéraux est ce qu'on a appelé *cristallisation ;* elle sert, avec la composition chimique, de caractère fondamental pour distinguer l'*espèce minérale*. Ce n'est pas ici le cas de discuter les caractères qui distinguent les minéraux, de donner leur nomenclature et de faire leur histoire ; qu'il nous suffise d'examiner rapidement parmi ces éléments constitutifs des roches ceux qui, par leur importance, leur abondance, se présentent le plus fréquemment à nos yeux. En citant par ordre d'abondance ces espèces minérales principales, nous aurons : *le feldspath, le quartz, le mica, le talc, l'am-*

phibole, *le pyroxène*, etc.; *les carbonates* et *les sulfates de chaux*, *le sel gemme;* quelques *combustibles fossiles;* et parmi les espèces métalliques, une seule à peine, le *peroxyde de fer hydraté*. La première série, du quartz au pyroxène, forme sans contredit la portion la plus considérable de l'écorce solide; les minéraux qui la composent constituent à eux seuls les roches dites cristallines ou primitives, qui, comme nous le verrons plus tard, surpassent infiniment en puissance toutes les autres roches réunies.

Feldspath. — Bien que le feldspath soit réellement le minéral le plus abondant, sa décomposition facile par les agents atmosphériques le rend rare à la surface du sol, tandis que le quartz, par sa persistance, se présente beaucoup plus fréquemment à nos yeux.

Le feldspath est naturellement blanc, rarement limpide, le plus souvent opaque, quelquefois coloré par l'adjonction accidentelle de substances étrangères. C'est un composé de silice, d'alumine et de potasse; cette dernière, dans certaines variétés, est remplacée par la soude ou la chaux.

Sa dureté est assez grande pour rayer le verre; il fait feu au briquet; sa cassure présente des clivages très-visibles; les acides n'ont aucune action sur lui, ce qui le distingue de certains calcaires d'une apparence extérieure assez semblable. Il est fusible au chalumeau.

Quartz. — Le quartz, par sa nature essentiellement siliceuse, possède une dureté qui l'a fait persister comme élément toujours visible dans la composition des roches. C'est à cette propriété qu'il est redevable d'être regardé comme la matière la plus abondante de la nature.

Le quartz, lorsqu'il est pur, est incolore; c'est le cristal de

roche ; ses cristaux sont composés d'un prisme à six pans terminé par une pyramide ; quelquefois le prisme disparaît et on n'aperçoit plus que la pyramide. Il est souvent blanc laiteux comme la porcelaine, ou coloré de différentes nuances par des substances étrangères : quartz enfumé, calcédoine, agate, jaspe, silex, etc...

La dureté du quartz est très-grande, il raye le verre et l'acier et fait feu au briquet ; sa cassure ressemble à celle du verre ; les acides n'ont aucune action sur lui ; il est complétement infusible au chalumeau ordinaire.

Mica. — Le mica, comme nous le verrons par la suite, existe en grande abondance dans la plupart des roches ignées et se retrouve en paillettes très-fines dans les couches sédimentaires qui résultent de leur destruction.

Le mica est ordinairement translucide, blanc, jaune ou noirâtre ; souvent sa composition chimique assez variable admet un grand nombre de substances, mais la silice et l'alumine en forment la base. Il est toujours très-brillant, se divise presqu'à l'infini en feuilles élastiques à surfaces miroitantes.

Cette substance est assez tendre, se raye très-facilement et se brise avec une certaine difficulté, à cause de la flexibilité et de l'élasticité des feuillets qui sont superposés.

Suivant sa composition, le mica fond dans les acides avec ou sans effervescence ; au chalumeau il ne fond pas toujours, mais perd sa transparence pour prendre un éclat blanc, mat et nacré.

Talc. — Le talc a une grande ressemblance avec le mica, dont il diffère chimiquement par l'absence d'alumine, et physiquement, en ce qu'il est doux et onctueux au toucher, comme le savon. Il est écailleux ou compacte, de couleur blanchâtre, gri-

sâtre ou verdâtre. On peut le diviser en lames minces et flexibles, mais non élastiques ; il est assez tendre pour se rayer avec l'ongle. Sa poussière, d'un blanc de neige, est si onctueuse qu'elle a été employée à tous les usages qui nécessitent des frottements doux.

Le talc est très-difficilement fusible au chalumeau et inattaquable par les acides.

Amphibole. — L'amphibole n'est pas toujours très-facile à reconnaître à cause de ses variétés; néanmoins l'espèce principale a des caractères assez tranchés. Elle présente des cristaux prismatiques très-allongés avec un clivage longitudinal très-faible, lui donnant un aspect fibreux remarquable.

Les couleurs de l'amphibole sont, comme ses espèces, très-variées ; noire ou vert noirâtre dans la plupart, elle est blanche dans l'une d'elles.

Cette substance est assez dure pour rayer le verre et cependant ne donne que très-peu d'étincelles sous le choc du briquet. Elle est composée de silice, d'alumine, de fer, de chaux et de magnésie; elle est fusible au chalumeau, peu attaquable aux acides, quoique altérable à l'air et à l'humidité.

Pyroxène. — Le pyroxène, moins abondant que les amphiboles, se rencontre fréquemment dans les roches éruptives. Il est composé de silice, de chaux, de magnésie et quelquefois de protoxyde de fer, toutes ces substances en associations variables.

Sa couleur est verte ou noire; il se présente sous forme de cristaux différents, suivant les variétés, qui sont assez nombreuses.

Le pyroxène raye difficilement le verre, fond en émail noir, et se comporte à peu près avec les acides comme l'amphibole.

Bien que moins importante, la seconde série des minéraux

que nous avons nommés joue encore un grand rôle dans la composition des roches. Si les minéraux de la première série composent à eux seuls presque toute l'épaisseur de la croûte terrestre, ceux de la seconde forment une grande partie de l'enveloppe extérieure. Quoique l'étude des roches nous initiera d'une manière presque suffisante à leur manière d'être, nous croyons cependant nécessaire de décrire en quelques mots les caractères les plus saillants de ces minéraux.

Carbonates de chaux.—Les carbonates de chaux, composés de chaux et d'acide carbonique, se présentent sous cinq états différents : 1° cristallisés, 2° fibreux, 3° saccharoïdes, 4° compactes, 5° terreux.

Les cristaux de carbonate de chaux sont tellement variables de forme, qu'il serait difficile de donner un type. Ils sont presque toujours translucides, blancs, jaunes ou grisâtres. Ils forment souvent d'assez fortes masses qui ont un clivage prononcé permettant de les diviser en feuillets très-minces.

Le carbonate de chaux fibreux est composé de cristaux prismatiques accolés les uns aux autres, formant une masse d'apparence soyeuse et nacrée. Ces cristaux sont blancs ou d'un jaune rougeâtre lorsqu'ils sont colorés par un peu d'oxyde de fer.

Le carbonate de chaux saccharoïde, lorsqu'il n'est pas coloré par des matières étrangères, rappelle, par le brillant de ses grains, l'aspect du sucre. Il est demi-transparent.

Le carbonate de chaux compacte le plus répandu dans la nature est blanc grisâtre ou jaunâtre; quelques espèces cependant sont fortement colorées, et même noires; il a une cassure mate, esquilleuse ou conchoïde.

Le carbonate de chaux terreux varie du blanc au jaune; il

tache presque toujours les doigts, est assez friable et happe à la langue.

Toutes ces espèces sont assez tendres pour se laisser rayer par une pointe d'acier, quelquefois même par l'ongle ; elles font toutes effervescence dans les acides même les plus faibles.

Sulfates de chaux. — Le sulfate de chaux se distingue du carbonate en ce qu'il se laisse rayer facilement par l'ongle et qu'il ne produit pas d'effervescence dans les acides lorsqu'il est pur. Il fond difficilement au chalumeau, mais blanchit de suite en donnant une substance connue sous le nom de plâtre.

Les sulfates de chaux présentent comme les carbonates cinq variétés différentes : 1° cristallisés et lamelleux ; 2° fibreux ; 3° saccharoïdes ; 4° compactes ; 5° calcarifères.

Les cristaux de sulfate de chaux sont assez variables de formes ; les plus communes sont le prisme et le fer de lance composé de deux cristaux lenticulaires accouplés. Ces cristaux présentent toujours des clivages faciles, permettant de les diviser en lames très-minces; sous le choc, la division intérieure des feuillets se révèle par des anneaux colorés très-remarquables. Cette substance est toujours translucide, quelquefois colorée légèrement par des matières étrangères.

Le sulfate de chaux fibreux se compose de cristaux prismatiques, accolés ensemble, et présentant un aspect soyeux et nacré d'un blanc laiteux translucide.

Le sulfate de chaux saccharoïde, toujours très-tendre, est connu dans les arts sous le nom d'albâtre ; généralement d'un beau blanc, il est quelquefois coloré comme le marbre par des matières étrangères, mais toujours les teintes sont claires.

Le sulfate de chaux compacte a également peu de dureté ;

cependant sous le choc il présente la cassure esquilleuse des substances résistantes, telles que le quartz; très-pesant relativement aux autres variétés, son poids suffit pour le faire reconnaître.

Le sulfate de chaux calcarifère est très-connu ; c'est le plus commun aux environs de Paris. Mélangé à des calcaires, il a quelquefois une dureté assez grande, son aspect est granuleux à surface miroitante.

La troisième série d'espèces minérales que nous avons indiquées comme combustibles fossiles se compose d'éléments d'une grande importance en industrie, puisque ce sont eux qui lui fournissent cette grande quantité de calorique qui lui est nécessaire. Nous eussions pu reporter cette description au moment où nous aurons à nous occuper des terrains ; mais nous avons préféré en parler ici afin de compléter l'historique des éléments principaux que nous retrouverons dans la composition des grandes divisions géologiques.

Ces matières combustibles sont au nombre de quatre principales : l'anthracite, la houille, le lignite et la tourbe.

ANTHRACITE. — L'anthracite est une substance noire, brillante ou opaque lorsqu'elle est pure, et sèche au toucher. Sa texture est ordinairement compacte; sa cassure dans ce cas est conchoïde, d'aspect vitreux très-éclatant, souvent même métallique, ses bords sont tranchants, sa dureté assez grande. Quelquefois sa texture est grenue, écailleuse ou lamelleuse; dans cette circonstance elle est friable et tache en noir foncé. L'anthracite s'allume difficilement et en crépitant, brûle avec lenteur à moins qu'un fort courant d'air ne vienne activer sa combustion; jamais les morceaux ne s'agglutinent entre eux, sa flamme est courte, dégage peu d'odeur et de fumée. Si l'on

retire l'anthracite incandescente du foyer, elle s'éteint subitement en se couvrant d'une cendre blanche. L'anthracite est considérée comme étant d'une formation plus ancienne que la houille ; effectivement elle constitue tous les gîtes combustibles inférieurs au terrain houiller ; néanmoins, et par suite de circonstances particulières, elle peut se rencontrer aux étages supérieurs jusque dans les terrains triasiques et même crétacés.

HOUILLE. —La houille est un mélange chimique d'anthracite avec une matière bitumineuse noirâtre qui varie suivant les différentes espèces. Cette substance est généralement noire, opaque ou brillante ; elle est peu pure, friable, mais jamais assez tendre pour se laisser rayer avec l'ongle. Par opposition avec l'anthracite, elle brûle facilement avec une flamme blanche un peu jaunâtre, une fumée noire et une odeur particulière ; elle laisse après sa combustion un résidu quelquefois très-abondant qu'on appelle *coke;* c'est un charbon poreux, solide, à surface rugueuse ou mamelonnée, d'un gris d'acier. La plupart des caractères distinctifs de la houille proviennent de la présence du bitume qu'elle contient et qui n'existe pas dans l'anthracite. L'une et l'autre de ces substances sont du reste en grande partie composées de charbon et de matières terreuses en proportions variables.

La houille offre différentes variétés qui peuvent toutes se ranger en trois sous-espèces : la houille sèche, la houille grasse et la houille maigre ; ces divisions correspondent à leur ordre de superposition.

La houille sèche se rapproche beaucoup des anthracites, elle occupe la partie inférieure du terrain houiller, sa couleur est d'un noir terne tirant un peu sur le gris, sa cassure est con-

choïdale, rarement feuilletée. Elle brûle difficilement, sans se gonfler ni s'agglutiner, et laisse un résidu abondant; comme elle contient souvent des pyrites, elle dégage une odeur sulfureuse très-prononcée; ses usages sont assez limités; cependant elle rend de grands services pour la cuisson de la chaux nécessaire à l'agriculture.

La houille grasse est assez légère, feuilletée, très-friable. Lorsqu'elle est pure elle est brillante, à cassure conchoïde, cuboïde ou fragmentaire; impure, elle est terne et tache les doigts. Dans le premier cas, elle brûle avec une belle flamme blanche, se boursoufle, semble se fondre de manière à agglutiner les fragments entre eux, propriété qu'elle doit à la grande quantité de matières huileuses qu'elle contient, et développe une chaleur considérable; ces qualités, qui la rendent surtout propre au travail des forges, lui ont fait donner le nom de *houille maréchale*. Dans le second cas, elle est schisteuse, terne, perd, suivant la proportion de schiste qu'elle renferme, sa bonne qualité et ses propriétés si remarquables.

La houille maigre est plus légère que la houille grasse, et moins noire; elle s'allume avec la plus grande facilité, brûle avec une flamme très-longue, ne se boursoufle ni ne s'agglutine, et laisse pour résidu un coke assez foncé, pulvérulent, et de mauvaise qualité. La matière bitumineuse se volatilise au lieu d'agglutiner les fragments, ce qui la rend précieuse pour l'obtention du gaz d'éclairage; on l'emploie également pour le chauffage des machines à vapeur et l'usage domestique.

Lignite. — Le lignite est une substance charbonneuse plus ou moins analogue au charbon végétal ordinaire et qu'un prin-

cipe bitumineux, semblable à celui de la houille, a transformé en une matière ayant souvent la plus grande analogie avec elle. Sa poussière, lorsqu'elle est fine, est toujours brune mais jamais noire comme celle de la houille. L'âge et les proportions des parties constituantes ont donné lieu à des variétés très-grandes dont plusieurs étaient autrefois classées parmi les houilles sèches. Nous distinguerons les espèces suivantes : le lignite stratiforme, le lignite compacte ou jayet et le lignite terreux.

Lignite stratiforme. C'est celui qui ressemble le plus à la houille; il est noir, luisant, d'aspect résineux, et assez dur ; sa cassure est conchoïde ou schistoïde, suivant qu'il a conservé plus ou moins son tissu ligneux. Il s'allume et brûle facilement avec une flamme qui se manifeste avant qu'il soit rouge, en dégageant une fumée noire, une odeur désagréable et piquante due à l'acide pyroligneux qu'il contient. Cette substance ne se boursoufle ni ne s'agglutine par la combustion; son charbon ressemble plus ou moins à la braise ordinaire ; il continue à brûler sur une pelle si on le retire du foyer, en laissant une cendre analogue à celle du bois, tandis que le coke s'éteint de suite.

Lignite compacte ou jayet. Dans ce lignite, les caractères du bois sont mieux conservés ; on y retrouve les lignes concentriques et fibreuses qu'on observe dans les végétaux. Il est d'un noir velouté brillant très-remarquable ; sa dureté est très-grande ; aussi sert-il à fabriquer une foule d'objets d'ornement susceptibles du plus beau poli. Cette variété brûle avec une flamme brillante et laisse peu de cendre.

Lignite sédimentaire. Ce lignite diffère essentiellement des deux autres espèces par son peu d'éclat ; sa texture est schisteuse, terne, inégale et diffuse ; sa dureté dépend de sa pureté,

et n'est jamais grande ; il contient souvent beaucoup de matières limoneuses. Ce lignite s'enflamme encore assez facilement en vertu du principe bitumineux qu'il renferme, brûle avec lenteur en laissant un résidu très-abondant d'argile durcie ; comme il contient souvent des pyrites, il dégage une forte odeur sulfureuse jointe à l'odeur particulière aux lignites.

Beaucoup de substances végétales accumulées et renfermées dans le sol présentent différents états de décomposition, bois fossiles, terre d'ombre, etc.

TOURBE. — La tourbe est la dernière substance minérale combustible; elle est plus ou moins colorée en brun et présente dans sa texture différentes variétés, suivant l'état de décomposition des végétaux qui la composent ; les deux plus tranchées sont : la tourbe compacte où les végétaux sont complétement décomposés, ce qui la rapproche, lorsqu'elle est desséchée, du lignite brun ; et la tourbe mousseuse, beaucoup plus légère, où l'on retrouve tout le tissu herbacé qui lui a donné naissance. La tourbe brûle facilement avec ou sans flamme en donnant une fumée semblable à celle du foin, et en laissant pour résidu une braise légère et beaucoup de cendres.

PEROXYDE DE FER HYDRATÉ. — Parmi tous les minéraux qui jouent un certain rôle dans la composition du sol, un seul, le peroxyde de fer hydraté, a une assez grande importance par son mélange à une foule de roches auxquelles il imprime un caractère particulier pour que nous le mentionnions ici. Sa couleur est terne ou luisante, d'un jaune brunâtre ou brun noirâtre, rarement complétement noire, mais dans tous les cas sa poussière est toujours jaunâtre. Sa texture est tantôt compacte, tantôt terreuse, généralement cellulaire ou géodique, d'aspect lithoïde et rarement métallique. On distingue plusieurs

variétés de cette substance, dont les plus importantes sont la limonite ordinaire amorphe, compacte ou terreuse, qu'on désigne vulgairement sous les noms de fer des marais, fer de gazon, fer des prairies, etc.; le fer hydroxydé, globuliforme, oolithique ou pisolitique; le fer hydroxydé brun ocreux, etc. Nous reviendrons sur le gisement de ces diverses espèces de fer hydroxydé.

ROCHES.

Les différents minéraux que nous venons d'étudier constituent rarement des masses importantes lorsqu'ils sont isolés; mais la réunion de plusieurs espèces forme des roches puissantes dont les éléments, à peu près constants dans leurs proportions et dans leur contexture, se prêtent à une classification assez rigoureuse. Au nombre des éléments constituants des roches on peut encore citer les fossiles, dont le nombre et l'accumulation, ainsi que nous l'avons déjà indiqué dans un passage de l'ouvrage de M. Michelet, peut suffire, parfois, en quelques points pour former la presque totalité de certaines roches calcaires ou siliceuses. Les roches ont été classées tantôt d'après leur nature minéralogique en roches feldspathiques, quartzeuses, micacées, talqueuses, calcaires, gypseuses, etc.; tantôt d'après leur structure et la disposition des éléments en roches terreuses, compactes, grenues, cristallines, etc.; tantôt d'après leur âge, en roches anciennes, modernes, primaires, secondaires, tertiaires, quaternaires; et enfin d'après leur nature originaire, en roches de sédiment, de transport, d'éruption, d'épanchement, de cristallisation, etc. Avant d'aborder la description sommaire des principales roches, nous allons

dire quelques mots des fossiles et des phénomènes du métamorphisme.

FOSSILES.

Un certain nombre de couches, dans les terrains sédimentaires, paraissent en partie composées de débris successifs de corps organisés ayant vécu pendant les longues périodes qui se sont écoulées avant l'apparition de l'homme ; d'autres, et le nombre en est considérable, bien que n'en présentant qu'une quantité beaucoup moins grande, en contiennent toujours au moins quelques vestiges.

Ces débris de l'organisation, plus ou moins bien conservés, offrent donc un vif intérêt sous le rapport de la constitution des couches ; nous verrons plus tard qu'ils ont une importance non moins grande dans la détermination de l'âge et de l'origine de ces mêmes couches ; aussi les a-t-on judicieusement comparés à des médailles, à des inscriptions caractéristiques des terrains dans lesquels ils se retrouvent. Une science presque nouvelle et d'origine toute française, la paléontologie, étudie et coordonne tous ces débris, et en compose pour chaque étage géologique l'histoire contemporaine des faunes qui l'habitèrent. Dans ces derniers temps, des découvertes importantes, des observations plus approfondies, sont venues donner une grande importance à l'étude de cette science et modifier les premières idées admises sur la perfectibilité croissante et constante de l'organisation, depuis les premiers âges jusqu'à l'apparition presque récente de l'homme ; on a dû même constater que quelques espèces, parmi les mollusques, sont en voie de décadence.

On donne le nom de *fossile à tout corps, trace ou vestige de corps organisé que l'on rencontre enfoui naturellement dans les couches de l'écorce du globe.* D'après cette définition, il n'est pas nécessaire, comme on l'entend vulgairement en désignant les fossiles sous le nom de *pétrification*, que le corps organisé ait été complétement remplacé par la substance pierreuse des couches qui le renferment. Ce corps peut n'être transformé ou remplacé que partiellement, présenter encore à peu près toute sa composition organique, sa structure intérieure, etc., et il suffit, pour qu'il soit à l'état fossile, qu'il soit renfermé dans des couches régulières et normales du sol. Il est vrai, en général, que la transformation et le remplacement sont d'autant plus complets, que le fossile se trouve dans des couches plus anciennes. D'un autre côté, les corps organisés fossiles n'existent pas toujours au sein des couches, intégralement, avec toutes leurs formes, leur volume, leurs contours, leur structure organique intérieure, etc. Dans un grand nombre, la presque totalité de ces caractères a disparu, et il ne reste plus de l'être préexistant que l'image de sa forme extérieure, sous forme d'*empreinte*, de *moule* ou de *contre-empreinte* : telles sont les empreintes fossiles que les végétaux présentent si fréquemment; tels sont aussi ces moules en creux ou en relief que les coquilles ont laissés en si grande abondance dans certaines roches.

Toutes les grandes divisions du monde organique ont leurs représentants à l'état fossile. Les plus nombreux toutefois sont les mollusques et les zoophytes, qui réunissaient sans contredit les conditions les plus favorables à la fossilisation par la nature même de leur enveloppe solide; parmi les mollusques quelques-uns avaient jusqu'à un mètre et plus de diamètre.

Malgré leur nature moins solide, des débris d'animaux singuliers, en dehors, comme formes et comme dimensions, de ce qui existe aujourd'hui, se retrouvent dans certaines couches, et viennent donner quelque vraisemblance à l'existence de ces animaux fantastiques décrits dans les légendes anciennes. On retrouve les ossements et jusqu'aux écailles de lézards qui auraient eu jusqu'à 15 et 20 mètres de longueur; un animal, désigné sous le nom de *ptérodactyle*, tenait à la fois du reptile, du mammifère et de l'oiseau. Les oiseaux sont représentés par des palmipèdes et des échassiers. Bien qu'il soit démontré aujourd'hui que des mammifères ont vécu dans des couches très-inférieures, on remarque chez plusieurs espèces, dont les débris se retrouvent dans les terrains tertiaires, des différences de conformation et de dimension très-grandes avec ceux qui vivent aujourd'hui. On voit donc que ces représentants d'un monde qui n'est plus sont loin d'offrir les mêmes espèces ou les mêmes genres que le monde actuel. Les espèces et les genres fossiles s'éloignent plus ou moins des espèces et des genres vivants, et cela d'autant plus qu'ils appartiennent à des temps géologiques plus anciens. De là les noms de fossiles *identiques*, *analogues* perdus, ou d'espèces *éteintes*. Suivant le milieu dans lequel les êtres organisés auxquels ces faits se rapportent paraissent avoir vécu, ils peuvent être *terrestres*, *marins*, *fluviatiles*, *palustres*, etc.; ces indications sont importantes pour l'histoire de la formation des dépôts neptuniens.

Il est impossible de décrire ici, avec détail, les principaux groupes de fossiles; nous nous contenterons de citer ou de figurer à la monographie des terrains les espèces qui caractérisent les formations.

Un certain nombre de lois générales paraissent avoir régi

l'existence et la répartition des fossiles au sein des couches solides; ces lois, utiles à connaître, sont les suivantes :

1° En général les espèces d'animaux ou de végétaux d'une époque géologique bien tranchée ne paraissent avoir vécu ni avant ni après cette époque, et aucune espèce, sauf quelques rares exceptions, ne peut être trouvée dans des terrains d'âges différents.

2° Les différences qui existent entre les faunes perdues et les faunes actuelles sont d'autant plus grandes que ces faunes sont plus anciennes.

3° La comparaison des faunes des diverses époques montre que la température a varié à la surface de la terre.

4° Les espèces qui ont vécu dans les époques anciennes ont eu une distribution géographique plus étendue que celles qui existent de nos jours.

5° Les faunes des terrains les plus anciens sont composées d'animaux d'une organisation plus imparfaite, et le degré de perfection s'élève à mesure qu'on s'approche des époques les plus récentes, sauf quelques rares exceptions. Les plantes et les végétaux simples apparurent d'abord, puis les coquilles bivalves et les plantes ramifiées, enfin la végétation gigantesque et les animaux vertébrés.

MÉTAMORPHISME.

On appelle métamorphisme les changements, les métamorphoses qu'ont subies certaines roches sédimentaires. De vives controverses entre les géologues ont eu lieu à ce sujet; aujourd'hui on admet généralement que ces roches de sédiment ont été transformées ou métamorphosées, soit sous l'influence de

la chaleur et des émanations gazeuses dégagées du foyer central, soit par le voisinage des matières incandescentes qui, à certaines époques, se sont fait jour au travers de leur masse. Ces roches, tout en conservant leur structure originaire, sont devenues cristallines.

On avait observé depuis longtemps que certaines roches neptuniennes présentaient, dans le voisinage des roches plutoniennes, des caractères différents de ceux qu'elles ont habituellement, et de ceux que ces mêmes masses conservaient un peu plus loin ; on avait remarqué, par exemple, que des bancs de craie ou de calcaire compacte prenaient une texture saccharoïde ou lamellaire avec une dureté beaucoup plus grande, lorsqu'ils s'approchaient des basaltes, et l'on ne peut nier que ces nouvelles propriétés n'aient été dues à l'action de la chaleur communiquée par cette roche d'épanchement. On reconnut que les roches calcaires, en couches inclinées, des contrées soulevées présentaient presque généralement une structure saccharoïde qu'elles n'avaient jamais, lorsqu'elles étaient restées dans leur position horizontale, et que ce fait devait être attribué également à la chaleur des roches soulevantes. A cette première cause on eut bientôt à en ajouter une autre : d'énormes dépôts calcaires ont présenté, au contact de mélaphyres une circonstance particulière de composition, celle d'être fortement magnésiés, tandis que d'autres dépôts faisant partie des mêmes assises, mais plus éloignés de l'agent réformateur, étaient restés du calcaire pur; on a conclu de ce fait que grand nombre de dépôts de dolomie avaient originairement été du calcaire pur, mais que, lors de la poussée de certaines roches soulevantes, de la magnésie sublimée, aidée par l'action dilatante de la chaleur, s'était introduite dans les pores du calcaire et s'était,

en certains points, combinée avec ce dernier par une opération analogue à la cémentation de l'acier. Du reste, cette hypothèse qui a présenté sous un point de vue tout à fait nouveau la formation de plusieurs espèces de roches, n'a pas été restreinte à la seule dolomie; beaucoup d'autres roches qui renferment de la magnésie, ou d'autres substances également introduites par sublimation, sont dans le même cas. Tels sont les gypses qui paraissent dus à des émanations d'acide sulfureux ayant pénétré des calcaires en voie de formation. On a aussi supposé que le soulèvement des roches plutoniennes a pu échauffer assez fortement les roches de sédiment, et y opérer une dilatation ou un ramollissement suffisant pour permettre au jeu des affinités de donner naissance à de nouveaux corps cristallins par un phénomène analogue à ce que nous voyons dans les corps fondus qui refroidissent dans des circonstances favorables. Enfin ce jeu des affinités, déterminé par la chaleur, ne s'est pas borné à donner naissance à des cristaux disséminés, mais à transformer des massifs entiers d'une grande étendue, comme ceux des gneiss, micaschistes, talcschistes, etc.

Après ces considérations de détail, nous allons entreprendre la description des roches qui résultent de l'association des différents minéraux que nous avons rapidement décrits. Ces roches sont en grand nombre et le cadre de ce manuel ne nous permet pas de les citer toutes; nous ne nous occuperons donc que des principales. Elles se groupent en raison de la prédominance d'un des éléments formant type.

Les roches sont tantôt simples ou homogènes, c'est-à-dire formées d'un élément unique, tel que le calcaire saccharoïde, le gypse ou le sel gemme; tantôt composées ou hétérogènes,

lorsque les éléments discernables à l'œil nu sont de différentes natures, comme dans le granite, le porphyre, la protogyne, etc.

ROCHES FELDSPATHIQUES.

GRANITE. — Le granite est une roche composée de trois éléments en proportions à peu près égales, en apparence : feldspath, quartz et mica, mais où, en réalité, la première de ces substances domine. Les éléments sont distincts, enchevêtrés les uns dans les autres, formant une roche cristalline dont la texture est telle qu'il est facile de la distinguer de toute autre. Le granite est une des plus anciennes roches d'épanchement, constituant quelquefois des surfaces considérables et quelquefois de simples filons.

SYÉNITE. — Roche composée des deux premiers éléments du granite, le feldspath et le quartz, mais où le troisième, le mica, est remplacé par l'amphibole : elle a toute la texture des roches granitiques, et généralement une teinte rouge due à la coloration du feldspath. Le magnifique monolithe de Louqsor est en syénite, et le piédestal en véritable granite. Cette roche constitue souvent des amas transversaux dans les terrains primitifs et quelquefois se montre à l'état stratiforme au-dessus des gneiss.

PEGMATITE. — La pegmatite ne contient que du feldspath et du quartz; cette dernière substance est ordinairement grenue, mais quelquefois en cristaux allongés disposés dans le même sens, et donnant alors à la roche, lorsqu'elle est brisée perpendiculairement à l'axe des cristaux, l'aspect d'une surface couverte de caractères hébraïques; on lui donne alors le nom de *pegmatite graphique;* elle forme des masses considérables dans l'étage des gneiss, et souvent des amas ou des filons transversaux dans tous les étages du terrain primitif. Le feldspath est

souvent facilement décomposé, et il en résulte une argile nommée *kaolin* qu'on emploie pour la fabrication de la porcelaine.

GNEISS. — Les gneiss sont des roches à base de feldspath et de mica en paillettes ou en lames distinctes, à structure essentiellement schisteuse et où le quartz entre quelquefois comme élément accessoire. Ils occupent la base des terrains sédimentaires stratifiés. Le granite, quoique formant en presque totalité la base de la charpente solide de l'édifice terrestre, est moins répandu à la surface du sol que les gneiss. Le premier sert de base en quelque sorte à toute la série des roches sédimentaires qui commencent par les seconds, pour se continuer, ainsi que nous le verrons plus tard, jusqu'aux dépôts récents.

TRACHYTE. — Cette roche, composée de grains microscopiques de feldspath enchevêtrés entre eux, et de quelques centièmes de mica, d'amphibole et de fer titané, est grisâtre, celluleuse, âpre au toucher. Elle offre quelquefois, disséminés dans sa masse, quelques cristaux de feldspath assez nets qui se distinguent par leur éclat vitreux et leur texture fendillée. Les trachytes forment des amas et des couches souvent considérables dans les terrains volcaniques des périodes tertiaires et alluviales.

ROCHES QUARTZEUSES.

QUARTZITE. — Le quartz forme souvent, mélangé à quelques minéraux accidentels, des filons ou des amas dans la partie supérieure des terrains primitifs ; il est tantôt grenu, tantôt arénoïde ou compacte, peu translucide, et fréquemment coloré en jaune ou en rose plus ou moins foncé.

QUARTZ SÉDIMENTAIRE. — Nous avons vu, sous le nom de quartzite, le quartz mélangé à quelques minéraux former dans les terrains primitifs des couches ou des amas; dans les terrains

sédimentaires, on le retrouve formant, associé à des calcaires, des marnes ou des argiles, des couches minces, mais assez étendues, particulièrement dans les terrains secondaires et tertiaires. Il s'est formé par voie humide emportant quelquefois dans sa masse des corps organisés. Sa texture est grenue ou compacte, sa couleur varie, mais est presque toujours assez légère ; lorsque la coloration augmente il devient opaque et passe au jaspe.

Silex.—Le silex, d'après M. Cordier, est un quartz compacte, aquifère, ce qui le rend translucide et fragile. Cette eau disparaît, avec une température peu élevée, et la roche devient alors beaucoup plus résistante; ce changement se produit par sa simple exposition à l'air. On distingue plusieurs variétés dont les principales sont : les *meulières* des divers âges, et principalement celles des terrains tertiaires, celles, par exemple, du bassin de Paris, si remarquables par leur structure caverneuse, leur gisement et leurs usages; on sait que cette pierre est employée avantageusement aux constructions qui demandent une grande solidité, telles sont les fortifications de Paris. Les meulières de la Ferté-sous-Jouarre sont si estimées, qu'on les expédie, non-seulement dans toutes les parties de la France et de l'Europe, mais aussi en Amérique; aucune roche ne fournit des meules aussi parfaites pour obtenir de belles farines. Les *silex pyromaques* ne sont presque qu'un accident dans la craie ; les *silex cornés* sont plus fréquemment répandus dans la série des terrains. De toutes les roches quartzeuses la plus abondante est, sans contredit, le *grès*. Cette roche n'est autre chose qu'un quartz grenu, ou, pour mieux dire, qu'un composé de grains quartzeux réunis, enchevêtrés ou assemblés par un ciment plus ou moins abondant, quelquefois

de même nature, souvent analogue aux roches encaissantes. Les grès sont tantôt très-solides et compactes, tantôt plus ou moins friables ou complétement désagrégés. Lorsqu'ils sont très-compactes et que la pâte paraît cristalline, on a une variété des quartzites qui se rencontrent dans les terrains anciens. Un exemple bien connu de quartz très-compacte et cristallisé existe aux environs mêmes de Paris, ce sont les grès *lustrés* et souvent très-sonores que l'on rencontre en plusieurs localités de ce bassin. Les couleurs des grès varient : ceux des environs de Paris sont d'un blanc assez pur lorsque quelques infiltrations ferrugineuses n'amènent pas accidentellement des teintes variant du jaune pâle au rouge ; à la base des terrains secondaires et dans la division supérieure des terrains de transition, on en trouve de remarquables par leur couleur rougeâtre; plus haut, dans la série des couches sédimentaires, ils offrent des bigarrures et divers autres accidents de couleur qui caractérisent en quelque sorte le terrain auquel ils appartiennent. Les grès peuvent être en couches, en bancs puissants ; ils sont aussi en amas et quelquefois en nids au sein des autres couches sédimentaires.

Lorsque les grains siliceux, au lieu d'être agglutinés et réunis pour former les grès, sont désagrégés, ils sont à l'état de sable; par extension, on a quelquefois appliqué cette dénomination à toute roche de détritus composée de grains plus ou moins durs, provenant d'une désagrégation et d'une trituration, par les eaux, de roches *granitiques*, *porphyriques*, *basaltiques*, etc. : de là les noms de sables granitiques, basaltiques, etc.

Certains grès, par leur composition ou leur texture particulière, ont donné lieu à des roches connues sous des désignations spéciales. Telles sont les suivantes :

Arkose. — Les arkoses sont formées de grains quartzeux, le plus souvent anguleux, réunis, par un ciment siliceux, à des grains de feldspath, conservant à peu près la forme qu'ils avaient dans les roches d'où ils proviennent. Cette roche est une espèce de granite recomposé qui contient quelquefois des débris de corps organisés; elle se trouve en couches dans les terrains secondaires et particulièrement à la base du lias.

Grauwake. — Cette roche se compose en grande partie de feldspath, de quartz grenu, de mica et de matières talqueuses ou phylladiennes. On y trouve, comme dans les arkoses, des débris de corps organisés. Cette roche passe au grès quartzeux phylladien lorsque le quartz est plus abondant que le feldspath : elle prend alors une structure schisteuse, et lorsque le grain est assez fin, elle sert à fabriquer les queues ou pierres à aiguiser les faux.

Psammite. — Lorsqu'un grès est grenu, schistoïde et que le mica est interposé entre les feuillets avec un peu d'abondance, il prend le nom de psammite; ce grès est mêlé d'argile dont la coloration détermine celle de la masse. Les psammites se rencontrent dans presque tous les terrains, forment quelquefois une partie des grès rouges, des grès bigarrés, houillers, etc., contiennent des traces de fossiles.

Molasse. — La molasse est un grès formé en grande partie de quartz réuni à du feldspath, du calcaire et du mica cimentés par une matière talqueuse ou serpentineuse lui donnant presque toujours un aspect verdâtre. Cette roche est habituellement peu solide, contient peu de fossiles, fait effervescence avec les acides, et forme des dépôts considérables dans les terrains tertiaires.

Macigno. — Cette roche se compose de quartz, de mica et

de feldspath souvent en grains très-fins, réunis par une marne endurcie qui lui donne une grande solidité. Quelquefois le mica est assez abondant pour lui donner une structure feuilletée. La présence de la marne distingue cette roche des molasses, ainsi que la présence souvent fréquente de débris végétaux. Elle occupe assez généralement la partie inférieure des terrains crétacés.

ROCHES MICACÉES.

Micaschiste. — Parmi les roches micacées, le micaschiste a seul une grande importance ; il se compose de quartz et de mica formant une roche grenue et schistoïde. Il est toujours stratifié et forme un grand étage à la base des terrains sédimentaires.

ROCHES TALQUEUSES.

Talcite ou talcschiste. — Roche à contexture schistoïde, composée de talc assez souvent mélangé à du quartz ou à du feldspath. La surface du talcschiste est douce au toucher, glissante. Cette roche contient souvent des débris organiques appartenant aux premières espèces de l'organisation animale, et forme, comme les micaschistes, un grand étage à la base des terrains sédimentaires.

Protogyne. — La protogyne est une espèce de granite comme aspect, composée principalement de talc et de feldspath unis quelquefois à un peu de quartz. Comme on le voit, les éléments sont les mêmes que dans le granite, sauf le mica qui est remplacé par le talc. C'est la roche qui forme le dôme gigantesque du mont Blanc et que l'on retrouve dans les Vosges, la Corse et la Bretagne.

Phyllade ou schiste ardoisé. — Roche composée de matières talqueuses excessivement fines, tenace, très-compacte, susceptible de donner par la division mécanique des feuillets d'une grande dimension et presqu'à l'infini. C'est une espèce de limon endurci, admettant quelquefois dans sa composition des parties microscopiques de quartz et de feldspath, etc., qui lui donnent des caractères particuliers. Les phyllades ou schistes ont des couleurs très-variées; ordinairement bleuâtres comme les ardoises, ils deviennent noirs lorsqu'ils admettent un peu de matière anthraciteuse dans leur composition, ou rougeâtres lorsqu'ils renferment du fer.

Certaines espèces quartzeuses sont désignées sous le nom de novaculithes, de pierres à rasoir ou à lancette. Lorsqu'ils sont graphiteux et alunifères, on les appelle *ampélites*.

On rencontre les schistes dans tous les dépôts aqueux : les ardoises et les phyllades dans les terrains de transition; le schiste proprement dit est abondant dans le terrain houiller ainsi que l'ampélite alunifère; l'ampélite graphique se rencontre dans certains terrains métamorphiques.

ROCHES AMPHIBOLIQUES.

Diorite.—La diorite se compose d'amphibole et de feldspath; elle est ordinairement grenue, quelquefois globulifère, presque toujours verdâtre. Cette roche est tantôt stratiforme et tantôt *sans délit;* dans le premier cas, elle est en couches dans les gneiss; dans le second, elle est en amas tranversaux dans les terrains primitifs. Une espèce particulière, remarquable par sa structure, se rencontre en Corse et est connue vulgairement sous le nom de porphyre ou de granite orbiculaire de ce pays.

Kersanton. — Roche d'un noir verdâtre, peu dure quoique

très-tenace, ayant pour éléments constituants : l'amphibole, le feldspath, le mica et un peu de pinite, substance noire, grisâtre, opaque et sans éclat, qu'on rencontre aussi quelquefois dans les granites en petits cristaux disséminés dans la masse. Le kersanton forme des amas et des filons transversaux dans les terrains primitifs, particulièrement en Bretagne où il sert de fort bonne pierre à bâtir.

ROCHES PYROXÉNIQUES.

Le pyroxène entre dans la composition d'un grand nombre de roches que nous ne pouvons toutes décrire ici à cause de leur trop peu d'importance dans l'ensemble de la croûte terrestre ; nous nous bornerons donc aux suivantes, renvoyant pour les autres aux ouvrages spéciaux sur la classification des roches, et notamment à ceux de M. Cordier.

Mimosite. — Roche d'un noir verdâtre, composée de feldspath coloré par le pyroxène, de pyroxène et de fer titané. Cette roche, lorsqu'on la chauffe ou qu'on la plonge dans l'acide chlorhydrique, change de couleur ; le feldspath se décolore et devient blanchâtre ; elle fait partie des terrains volcaniques des périodes crétacées et tertiaires.

Dolérite. — Elle est composée comme la mimosite ; seulement, le feldspath est blanchâtre, et le pyroxène plus abondant. Cette roche est souvent poreuse et cellulaire, quelquefois grenue, à texture granitoïde, et appartient aux mêmes terrains que la mimosite.

Basalte. — Le basalte est composé des mêmes éléments que les deux roches précédentes, mais on ne peut les y distinguer. La roche est compacte, noire, dure et tenace ; elle est remarquable par la forme prismatoïde sous laquelle elle se présente

en plusieurs localités, et qu'elle doit à l'homogénéité de sa masse, soumise au retrait, en passant de l'état de lave fluide à l'état de lave solide. Les basaltes font partie des terrains volcaniques des périodes tertiaires et alluviales.

ROCHES PORPHYRIQUES.

Les porphyres étant assez souvent feldspathiques, quartzeux, amphiboliques ou pyroxéniques, nous avons cru bon de les réunir en une classe particulière, quoique leur véritable place fût dans chacune de celles ayant pour type le genre minéral qui les caractérise.

PORPHYRE ROUGE ANTIQUE. — Cette roche est composée d'une pâte feldspathique et quartzifère, homogène, dans laquelle sont disséminés des cristaux très-nets de feldspath d'une nuance plus claire, ou tout au moins différente de celle de la pâte. Ce porphyre, utilisé par les anciens dans la décoration ou la création d'objets de luxe, vases, statues, colonnes, est très-remarquable par sa belle teinte rouge et le beau poli qu'il acquiert. Il appartient aux épanchements des périodes primitives et ne dépasse jamais la période qui a fourni le terrain ardoisier.

PORPHYRE NOIRE OU MÉLAPHYRE. — Comme l'indique son nom, cette roche est habituellement noire, couleur qu'elle doit probablement au pyroxène ou à l'amphibole uni au feldspath et au quartz. La pâte est généralement compacte. Au reste, on n'est pas encore parfaitement d'accord sur la composition de cette roche qui se présente sous un assez grand nombre de variétés ; on désigne même aujourd'hui, sous le nom de mélaphyres, des roches d'un rouge plus ou moins prononcé ; elles appartiennent aux terrains éruptifs qui ont commencé comme

les porphyres rouges finissaient, et ont continué jusqu'à la période houillère.

Porphyre argiloïde. — On rencontre assez souvent du porphyre dont l'aspect est terne, argileux, la texture celluleuse; les cristaux de feldspath, bien que visibles, y sont imparfaits. On lui a, pour ces raisons, donné le nom de porphyre argiloïde ou d'argilophyre. Cette roche est moins ancienne que les deux précédentes, et ne s'est guère épanchée qu'à l'époque des terrains triasiques [1].

ROCHES VITREUSES.

Ce que nous avons dit pour les porphyres se reproduit pour certaines roches volcaniques, qui eussent dû être classées également en raison de l'abondance d'un des éléments que nous avons regardés comme caractéristiques, mais elles se distinguent dans leur texture d'une manière si tranchée, qu'il semble plus convenable d'en faire un groupe à part.

Scorie trachytique. — A la surface des terrains trachytiques, on rencontre souvent une roche de nature spongieuse et cellulaire, rude au toucher, qui est due au refroidissement brusque d'une surface encore à l'état de fusion. Cette surface conserve les mêmes éléments que la roche même, mais en prenant un aspect vitreux souvent assez prononcé, tout en conservant les couleurs ordinaires.

Scories basaltiques. — Les scories basaltiques se trouvent

[1] Il est une roche remarquable par son emploi dans les arts, la *serpentine*, que nous ne mentionnons pas ici, parce qu'assez rare, cette roche éruptive, qui ne se compose que de diallage, d'un peu de feldspath et d'un peu de talc, appartient à une famille spéciale formant un groupe de peu d'importance en géologie.

également à la surface des basaltes, formant une croûte crevassée par l'effet d'un refroidissement très-vif, ayant pris un aspect vitreux, d'une coloration bleuâtre, rougeâtre, et quelquefois aussi noire que celle du basalte même. Souvent les fragments de cette croûte, séparée de la roche même, se sont disposés dans un désordre assez remarquable.

Ponce. — La ponce est aujourd'hui tellement connue en industrie, qû'il serait presque inutile de la décrire ; elle est grisâtre, rude au toucher, d'aspect vitreux, très-celluleuse et légère, et se trouve à la surface des courants volcaniques.

Obsidienne. — L'obsidienne est un verre volcanique, souvent d'un beau noir, que l'on croit provenir de matières charbonneuses ; elle est quelquefois un peu translucide ; sa cassure est conchoïdale comme celle du verre ordinaire ; elle fait partie des produits volcaniques de presque tous les âges.

Téphrine. — La décomposition des trachytes donne lieu à une roche grisâtre, argileuse et friable, dans laquelle se trouvent souvent isolés et parfaitement conservés les cristaux contenus dans la roche originaire, et qui a reçu le nom de téphrine.

Tuf volcanique. — Le tuf volcanique est le résultat de la décomposition des cendres volcaniques ; il forme souvent des couches assez épaisses. Aux environs de Naples, par exemple, on le rencontre jusqu'à une profondeur de 224 mètres. C'est dans ce tuf qu'est creusée la grotte, ou plutôt le tunnel de Pausilippe. Il est également très-abondant aux environs de Rome.

ROCHES CALCAIRES.

Les roches calcaires sont formées d'un élément minéralogique unique, le carbonate de chaux. Tous les calcaires se reconnaissent à leur effervescence très-vive dans les acides. Leur âge,

leur texture ou leur coloration les divisent en un grand nombre de variétés, dont les plus remarquables sont les suivantes :

CALCAIRE PRIMORDIAL. — Ce calcaire, dans sa plus grande pureté, se compose de cristaux de carbonate de chaux plus ou moins volumineux, enchevêtrés entre eux. Il donne alors ces beaux marbres statuaires blancs, cristallins, à grains fins, translucides, connus sous les noms de *marbre de Paros*, *de Carrare*, etc. Lorsqu'il entre dans leur composition des matières accidentelles, ils offrent des variétés connues sous le nom de *cipolin*, si c'est du mica ; de *vert antique*, si c'est du talc, du feldspath et du pyroxène ; de *bleu turquin*, si la coloration est due à un peu de bitume ; de *jaune antique*, s'il est coloré par l'hydrate de fer. Ces marbres appartiennent aux époques primitives, on n'y rencontre jamais de fossiles.

CALCAIRE SÉDIMENTAIRE. — Les différences les plus grandes existent entre les nombreuses espèces de calcaire sédimentaire répandues dans tous les terrains depuis les plus anciens jusqu'aux plus récents. On a ainsi des calcaires qui peuvent prendre le nom de marbre, étant susceptibles de recevoir un beau poli, et d'autres auxquels leur texture lâche, friable ne permet pas de l'appliquer. Parmi les premiers on remarque ceux qu'une matière étrangère, analogue à celle des ardoises, est venue colorer de différentes nuances en leur donnant une texture plus ou moins schisteuse ; tels sont les marbres connus sous les noms de *campan*, *griotte d'Italie*, *rouge antique*, etc. Lorsque les grains calcaires sont microscopiques, ils forment une pâte compacte très-fine qui donne lieu à des marbres plus ou moins colorés, désignés sous les noms de marbres *noir africain*, *jaune de Sienne* ; le *calcaire lithographique* peut encore recevoir le nom de marbre, quoique son

poli, à cause de sa porosité sub-microscopique, cesse d'être aussi parfait qu'on puisse le désirer pour lui donner ce nom. Quelques calcaires d'eau douce ont souvent une homogénéité et une dureté telles qu'ils peuvent constituer des marbres, tels sont ceux de *Chateau-Landon*.

Certains calcaires, par suite de dispositions particulières, donnent encore de fort beaux marbres à l'industrie : tels sont ceux qui présentent des concrétions globulifères, réunies entre elles par une pâte calcaire compacte et de différentes nuances, connus sous le nom de *brocatelles* et exploités particulièrement à Tortose en Espagne. D'autres reçoivent dans leur pâte un grand nombre de coquilles ou de débris fossiles; on leur a donné le nom de marbres ou calcaires *lumachelles;* parmi les marbres on cite la *lumachelle d'Astracan*, le *marbre Sainte-Anne*, etc.

Enfin viennent les calcaires proprement dits : — La *craie*, substance plus ou moins tendre suivant les localités, blanche ou terreuse, contenant une grande quantité de débris d'animaux microscopiques et de coquilles. — Le *calcaire grossier* des environs de Paris, dont l'origine sédimentaire est bien accusée par les détritus dont il est évidemment composé, et par la grande quantité de débris organiques qu'il contient; sa texture est très-variable, il peut être grossier, comme l'indique son nom, ou presque compacte. En citant celui des environs de Paris nous avons voulu indiquer un grand type, mais non le localiser à ce seul point ; on le trouve dans un grand nombre de localités d'âge tertiaire, notamment à Caen, à Maëstricht, etc. — Le *calcaire oolithique* se compose de masses importantes de calcaires formées de petits grains, présentant presque toujours à leur intérieur un noyau organique ayant en quelque

sorte servi de centre d'attraction à une matière calcaire enveloppante et concentrique à l'objet enveloppé. Une découverte récente, signalée à l'Académie des sciences par M. Virlet d'Aoust, semblerait indiquer l'origine probable de quelques-uns de ces dépôts, et vient démontrer toute la puissance créatrice de la nature lorsque l'on permet au temps d'intervenir, dans les limites qui lui sont nécessaires pour accomplir avec de faibles moyens les travaux les plus gigantesques. Dans certains lacs d'Amérique dont le fond est formé par un calcaire d'eau douce en voie de formation, des milliers de mouches amphibies vont, en plongeant de plusieurs mètres, déposer leurs œufs au fond de l'eau où ils forment, éclos ou non éclos, au bout d'un certains temps, de véritables calcaires oolithiques à peu près semblables à ceux que nous rencontrons à des époques géologiques très-éloignées de nous. Les Indiens recueillent ces œufs au moment de la ponte et s'en servent comme substance alimentaire. Ce fait particulier et encore isolé ne peut pas être admis sans réserve, nous ne le signalons ici que comme un exemple des nombreux moyens que la nature peut employer pour créer les masses qui la composent. — D'autres calcaires, désignés sous le nom de *pisolithiques*, diffèrent des précédents en ce que les grains, dans une même masse, varient de grosseur et de forme, et n'ont plus l'aspect de petites concrétions roulées. — On désigne sous le nom de *tuf calcaire* ou *travertin* certains calcaires concrétionnés grossiers et celluleux, formés par d'anciennes sources et se produisant encore de nos jours sur certains points, comme à Sainte-Alyre près Clermont-Ferrand, à Abano près Padoue, etc. Ces sources, en arrivant au sol, déposent sur les rives le carbonate de chaux dont elles sont chargées en enveloppant tous les objets qui s'y trouvent.—

Lorsque certains calcaires reçoivent de la magnésie dans leur composition, on leur donne le nom de *dolomie*, ou de *calcaire magnésien* lorsque la magnésie est moins abondante et qu'ils contiennent des matières étrangères, par exemple un peu de bitume qui rend la roche odorante par le choc. La dolomie pure a souvent toutes les apparences du marbre statuaire blanc et est quelquefois employée aux mêmes usages. —Enfin il y a des calcaires qu'une structure particulière caractérise d'une façon toute spéciale ; ce sont les *brèches* qui résultent de la fracture de roches préexistantes, et dont tous les fragments ont été ensuite ressoudés par un ciment calcaire presque toujours d'une teinte différente et donnant quelquefois des marbres assez recherchés, tels que les brèches d'Alet et de Toulonet en Provence.— Les *poudingues* sont composés également de fragments de roches, mais roulés et donnant lieu aussi à d'assez beaux marbres lorsque les éléments qui les constituent et le ciment qui les réunit sont assez durs pour recevoir un beau poli. — Citons en dernier lieu les *albâtres calcaires* déposés sous forme de stalactites ou de stalagmites par des eaux chargées de calcaires. Ces dépôts forment de véritables marbres cristallins, translucides, souvent zonés et très-recherchés dans les arts.

ROCHES GYPSEUSES OU A BASE DE SULFATE DE CHAUX HYDRATÉ.

Après ce que nous avons dit sur les sulfates de chaux, il nous reste peu de chose à dire sur les roches qui se composent presque entièrement de cette substance.

GYPSE. — Substance formée de sulfate de chaux hydraté ressemblant quelquefois au calcaire, mais toujours facile à en distinguer par sa dureté beaucoup moins grande et par l'absence

d'effervescence dans les acides. Il est blanc lorsqu'il est pur, mais plus souvent jaunâtre lorsqu'il est mélangé d'un peu de marne ou d'argile. Il est le plus souvent cristallisé, lamellaire, saccharoïde, fibreux, plus rarement compacte. Ces différences de structure varient pour ainsi dire avec la nature des terrains dans lesquels on le rencontre; elles ont quelquefois un caractère utile pour distinguer leur âge, sans toutefois présenter un caractère de certitude complète. Certains gypses tertiaires offrent quelquefois, notamment dans le Midi, un certain facies qui les rapproche des gypses secondaires. Les gypses sont généralement en couches, plus rarement en amas; ce dernier cas arrive lorsque le gypse a été produit par des émanations sulfureuses qui, sorties de l'intérieur de la terre, sont venues réagir à la surface sur les roches calcaires.

Albatre gypseux, alabastrite. — Quelquefois le gypse est d'un blanc éclatant ou veiné de teintes légères, mais toujours translucide et compacte, ayant, sauf son peu de dureté, une grande analogie avec certains marbres. Cette absence de dureté est mise à profit pour la fabrication d'une foule d'objets d'ornement que l'on peut alors livrer à bas prix.

SEL GEMME.

Sel gemme (*chlorure de sodium*). — Il se trouve dans le voisinage des gypses des formations secondaires et tertiaires, ce qui nous engage à le mentionner ici au-dessous de la roche qui l'accompagne ordinairement. Ses caractères nous sont suffisamment connus; ils ne diffèrent pas sensiblement de ceux du sel obtenu artificiellement par l'évaporation de l'eau de mer. Toutefois le sel gemme est plus souvent impur, contient des matières argileuses, des oxydes métalliques, offre des couleurs

qui varient du gris sale au blanc et au jaunâtre, quelquefois nuancées de rouge, de bleu, de violet.

D'autres roches pourraient se grouper près du sel gemme comme substances salines, mais elles ont une importance trop minime pour le sujet qui nous occupe; telles seraient: *la baryte sulfatée*, que l'on rencontre quelquefois à l'état de roche sédimentaire, mais qui le plus souvent accompagne les filons métallifères ; *la strontiane sulfatée*, que l'on rencontre abondamment dans certaines assises du terrain tertiaire parisien et dans quelques dépôts de soufre natif comme en Sicile, etc.

GROUPE DES ROCHES ARGILEUSES ET MARNEUSES.

Les argiles jouent un assez grand rôle dans la composition des terrains ; elles sont formées en grande partie de silicate d'alumine avec un peu d'oxyde de fer et quelques autres substances accidentelles. Formées comme les limons, elles en diffèrent cependant en ce qu'elles sont moins sableuses, ferrugineuses ou marneuses ; elles semblent provenir généralement de la décomposition de certaines roches altérables et dont les détritus, tombés en suspension dans les eaux, ont été transportés souvent assez loin du lieu de leur origine. Beaucoup d'argiles ont la propriété de faire pâte avec l'eau ; d'autres y perdent leur consistance sans pouvoir s'y délayer. Elles sont généralement terreuses, douces au toucher, de couleur grisâtre, de structure schistoïde ; elles happent à la langue et exhalent, lorsque l'on souffle dessus, une odeur particulière appelée argileuse.

Souvent l'argile est mélangée en proportions variables avec le calcaire ; la roche qui en résulte et dont la texture annonce évidemment une roche de sédiment fin acquiert quelquefois

une grande compacité ; d'autres fois elle est plus ou moins friable ou terreuse. Lorsque les deux substances sont ainsi réunies en proportions à peu près égales, on désigne cette roche sous le nom de *marne ;* lorsque le calcaire domine sur l'argile ou celle-ci sur la marne, on l'a désigné sous les noms de marne argileuse ou d'argile marneuse. On sait combien cette roche est abondante dans toutes les formations sédimentaires, surtout dans les divisions les plus supérieures ; on sait aussi quelles ressources elle offre à l'agriculture ; il est donc important de la bien distinguer. Nous avons dit ailleurs qu'il était toujours facile de reconnaître un calcaire par l'effervescence très-vive qu'il produit dans un acide, effervescence due au dégagement de l'acide carbonique, qui est graduellement remplacé par le nouvel acide se combinant à la base alcaline ; les argiles pures sont complétement insolubles dans ces mêmes acides. Si donc on essaye, par la même expérience, une marne vraie, la quantité essayée disparaîtra de moitié dans l'acide ; il en disparaîtra davantage si la marne est avec un excès de carbonate de chaux, et il en disparaîtra moins si elle est avec un excès d'argile. Parmi les argiles et les marnes, on distingue les variétés suivantes :

KAOLIN. — Argile par excellence et la plus pure de toutes, elle provient de la décomposition des roches feldspathiques. On sait que cette substance, employée pour la fabrication de la porcelaine, est ordinairement d'un blanc pur, tendre et tachante ; elle est souvent mélangée au quartz qui l'accompagnait dans les roches originaires, et qui, en vertu de son inaltérabilité, persiste ; à l'état arénacé, on y rencontre également des paillettes de mica. Le kaolin se trouve ordinairement dans le voisinage des granites et des pegmatites, roches qui lui ont

le plus souvent donné naissance. Le meilleur est celui de la Chine ; il en existe de très-beaux gisements à Saint-Yrieix, près Limoges; on en a découvert récemment sur d'autres points de la France.

Argile smectique, ou terre a foulon. — Cette argile, ordinairement grisâtre, onctueuse au toucher, se délaye facilement dans l'eau, lui donne une apparence savonneuse et la propriété de dégraisser les étoffes de laine en leur donnant du lustre et de la souplesse. Il semble que ce soit par l'effet de la capillarité que les molécules argileuses en suspension dans l'eau s'emparent de la matière grasse ; on rencontre l'argile smectique dans plusieurs étages, mais principalement à la partie inférieure de l'étage oolithique.

Argile plastique. — Les différentes dénominations sous lesquelles on connaît cette argile suffiraient presque pour la désigner : on l'appelle terre de pipe, terre à potier, terre à figurine, terre glaise, selon les usages auxquels elle est propre. Elle est assez généralement grise, quelquefois marbrée de différentes nuances par l'adjonction de substances métalliques ou végétales, et fait avec l'eau une pâte tenace qui conserve les formes qu'on lui imprime. Elle est ordinairement friable ou meuble quand elle est sèche, molle quand elle est mouillée. Soumise à l'action du feu, après avoir été préalablement desséchée à l'air libre, elle devient dure, fragile et rude au toucher. Lorsque l'argile plastique est très-pure, que l'alumine y entre en proportion notable, elle devient complétement réfractaire au feu, malheureusement cette propriété très-importante est assez rare, quoique très-recherchée.

Argile sableuse ou arénifère. — Quelquefois l'argile, entraînée à l'état de limon ou de lehm, admet dans sa composition

une certaine quantité de sable, le plus souvent quartzeux; elle devient alors très-propre à la fabrication des briques ordinaires, tuiles, carreaux et autres terres cuites grossières. Cette argile est la plus commune et se trouve dans presque tous les terrains et tous les pays.

MARNE. — Nous avons vu précédemment que, lorsque l'argile admet une certaine quantité de calcaire, elle passe à l'état d'argile calcaire ou de marne. Cette marne est quelquefoie arénifère; on l'emploie avec grand succès en agriculture, surtout lorsqu'elle est calcarifère, dans des terres fortes où le carbonate de chaux manque; si elle est argileuse, on l'applique de préférence aux terres légères et sableuses. La marne, comme l'argile, renferme souvent des débris organiques et se rencontre dans presque tous les terrains sédimentaires.

MARNOLITE. — Lorsque la marne reçoit des infiltrations calcareo-siliceuses, elle devient dure, ne se délaye plus dans l'eau; on lui donne alors le nom de marnolite, et dans cet état elle est très-recherchée pour la fabrication de la chaux hydraulique. Cette substance se trouve en couches ou en rognons dans les terrains triasiques et crétacés.

ARGILITE. — De même que la marne, lorsque l'argile reçoit une matière siliceuse capable de l'endurcir, elle perd ses propriétés et se transforme en une substance qui ne fait plus pâte avec l'eau et qui jouit alors des mêmes avantages que les marnolites pour la fabrication de la chaux hydraulique. On rencontre des argilites en couches dans presque tous les terrains sédimentaires, depuis le terrain silurien jusqu'au plus récent. Elles affectent souvent une structure schisteuse qui les fait confondre quelquefois avec des schistes ardoisiers.

SABLES.

On a donné le nom de sables à toute roche de détritus composée de grains, plus ou moins durs, d'une ou de plusieurs substances provenant de la désagrégation et de la trituration par les eaux de roche quelconques. Lorsque les éléments d'une roche particulière forment à eux seuls des masses arénacées on leur donne les noms de la roche; ainsi on dit quelquefois : *sables granitiques*, *porphyriques*, *basaltiques*, *calcaires*, etc., etc.

Nous terminons ici l'étude abrégée des principales substances que la sonde peut avoir intérêt à éviter ou à rechercher. La recherche des roches métalliques par les sondages étant limitée généralement à ces travaux superficiels, cette recherche rentre dans le domaine du métallurgiste pour lequel la sonde d'exploration devient un auxiliaire précieux, mais non un moyen efficace de découverte des filons, s'ils ne se montrent à la surface et dans le voisinage du lieu à explorer.

DE LA STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉCORCE SOLIDE DU GLOBE.

L'écorce du globe, d'une seule masse cohérente, est homogène et continue dans toutes ses parties; tout ce que nous avons dit précédemment suffit pour nous en convaincre. Nous avons déjà employé les expressions de substances minérales en *masses*, en *filons*, en *couches*, en *nodules*, etc. ; *stratifiées*, *schistoïdes*, etc. ; *élastiques*, *grenues*, *terreuses*, etc. ; sans que peut-être certains lecteurs en comprissent bien le sens et l'étendue; il est donc utile de définir brièvement chacune de ces expressions, et après la connaissance des matériaux

qui composent l'écorce solide, il est naturel de se demander quelle est leur disposition et leur structure.

Les masses minérales sont séparées par des joints réguliers ou irréguliers, étendus ou limités, qui sont leurs contemporains ou sont postérieurs à leur formation. Ces joints naturels qui divisent toute la portion solide du globe en un grand nombre de masses partielles plus ou moins étendues, ont reçu divers noms suivant leur nature et suivant les circonstances dans lesquelles ils se sont formés. Les *joints de stratification* déterminent la division de certains dépôts aqueux en bandes d'un diamètre sensiblement égal sur toute leur étendue, et dont la largeur et la longueur surpassent de beaucoup l'épaisseur; ces bandes qui se succèdent quelquefois en grand nombre, en conservant entre elles un parallélisme sensible, ont été désignées sous le nom de *couches assises* ou *strates*. Il ne faut pas confondre les joints de stratification avec les *joints de texture;* ceux-ci déterminent seulement la disposition feuilletée des roches ou lamellaire des minéraux, et ne concourent pas directement à la structure du globe. Du reste, tantôt ces joints suivent dans leur direction un parallélisme en accord avec celui des couches, tantôt, au contraire, ils croisent celles-ci sous divers angles d'inclinaison. Un caractère essentiel des dépôts qui se forment tranquillement au sein des eaux est de prendre une disposition stratoïde. Si le niveau du fond sur lequel s'est déposée une première couche ne change pas sensiblement d'horizontalité après la formation de cette première couche, toutes les autres couches qui viendront ensuite seront parallèles entre elles, horizontales, et conséquemment parallèles à la première. On dit alors que la stratification est *concordante*. Dans le cas contraire, si la direction d'une série de couches vient à changer pour une

cause quelconque ; que toutefois l'émersion complète de ces couches n'ait pas encore lieu, et que de nouveaux dépôts se forment sur celles-ci en prenant une structure stratoïde, la stratification des couches nouvellement formées ne sera plus parallèle à celle des premières ; elle sera *discordante* relativement à celle-ci. Or, les couches sont dites *inclinées* lorsqu'elles ne sont pas sensiblement parallèles à l'horizon; l'*angle d'inclinaison*, qui se mesure également par rapport au plan de l'horizon, peut, comme on voit, varier à l'infini. La discordance des couches fournit un très-bon caractère pour établir la limite entre deux périodes géologiques, car ces discordances ne peuvent avoir été déterminées que par un mouvement plus ou moins violent du sol, par une révolution qui, en modifiant le relief de la surface et la direction des niveaux relatifs, fournit le moyen le plus naturel de séparer les temps géologiques. Quant à l'*inclinaison* des couches, nous verrons comment elle peut servir à déterminer l'âge des terrains.

Une couche, en se déposant sur un sol déjà consolidé, s'est moulée sur lui ; elle en a pris les diverses formes : de là les noms de couches en *bosse*, en *manteau*, en *selle*, en *jatte* ou *fond de bateau*, etc. ; cette dernière est fort commune dans les terrains houillers.

Lorsque des agents perturbateurs ont dérangé les couches de leurs positions normales, ils se sont rarement limités à déterminer dans ces couches des différences de direction et une inclinaison variable ; la plupart du temps les dérangements ont été plus complexes et ont laissé des traces non moins remarquables de leur énergie. Dans tel cas, par exemple, les couches sont arquées et pliées en forme de C ; dans tel autre elles sont plissées, tournées en zigzag, ou diversement con-

tournées; alors, tantôt elles ont gardé dans leur courbure leur continuité primitive, tantôt elles sont brisées dans le pli, et souvent alors on voit, derrière la convexité, un vide laissé par la partie supérieure des strates les plus éloignées du centre de courbure. Les contrées calcaires ou schisteuses plus ou moins rapprochées des axes granitiques et montagneux offrent de nombreux exemples de ces faits. Il semblerait que la forme torturée de ces couches devrait nécessairement produire des variations dans leur direction; mais il n'en est rien; ces variations n'existent guère que dans les détails, et la direction générale n'est pas changée.

De ce qu'une couche est fortement inclinée, il ne faut pas toujours en conclure rigoureusement qu'elle n'est pas dans une position normale, surtout lorsqu'elle est cristalline; car on sait qu'une substance saline peut se déposer sur toute espèce de fond, quelle que soit son inclinaison.

Dans quelques cas, les couches ont été tellement redressées, brisées, que l'on ne voit plus que leur tranche à la surface du sol; quelquefois même elles ont été renversées; des exemples de cas semblables ne sont point rares dans les Alpes. Il est alors bien difficile d'assigner leur âge par la superposition, puisque l'ordre de celle-ci est interverti.

Lorsqu'une couche est interrompue brusquement dans le sens de son étendue superficielle; qu'une fissure est propagée sur une certaine longueur, en occasionnant un dérangement dans le niveau des parties correspondantes, de manière que la même couche se retrouve plus haut ou plus bas d'un côté de la fissure que de l'autre, cette solution de continuité se nomme une *faille*. Cet accident est fréquent, et donne lieu à de graves inconvénients dans les travaux de mines

lorsque ces failles n'ont pas de régularité dans leur distribution.

L'*allure* d'une couche ou d'une masse minérale quelconque est l'ensemble des circonstances relatives à sa position, à sa puissance et à sa direction; elle peut être *régulière* ou *irrégulière*.

Il arrive quelquefois que des systèmes de couches, traversées par d'autres masses dans le sens longitudinal, présentent des deux côtés de cette masse une inclinaison en sens contraire ; on appelle *ligne anticlinale* la ligne qui, comme le faîte d'un toit, correspond à l'intersection des plans de couche qui plongent chacun dans un sens opposé.

On considère comme *masses non stratifiées* les parties de l'écorce du globe qui présentent une épaisseur considérable, sans être divisées par des joints de stratification. Ces masses sont tantôt en *filons*, tantôt en *amas*, tantôt en *dykes*, *culots*, etc.

Les *filons* sont des masses minérales intercalées dans d'autres, qu'elles coupent dans diverses directions sous forme de coins ou de cônes plus ou moins allongés. La matière de remplissage des filons a profité, pour prendre la forme qui lui est propre, de fentes ou de cassures qui lui étaient offertes au travers de l'écorce du globe, et qu'elle a remplies, postérieurement à la formation des masses minérales qu'elle traverse. Cette matière de remplissage est généralement métallique, du moins est-elle presque toujours différente de celle des masses traversées.

Dans les pays qui présentent un grand nombre de filons, si ceux-ci ont eu des époques de formation différentes, on remarque aussi que leurs directions générales sont différentes les unes des autres.

On distingue plusieurs sortes de filons : les *filons proprement dits*, les filons en forme de murs ou *dykes*, les filons en cônes très-surbaissés ou *culots*, etc. Ce sont les filons proprement dits qui offrent les gîtes les plus abondants des minéraux, surtout des substances métalliques. Dans les filons métallifères, les parties non métalliques qui forment la masse principale sont désignées par le nom de *gangue*. Les *dykes* sont ordinairement composés d'une masse pierreuse uniforme, telle que basaltes, porphyres, etc. Les *culots* sont assez souvent entièrement cachés dans les matières qu'ils traversent ; d'autres fois ils forment au-dessus de celles-ci des masses plus ou moins considérables ; ce sont aussi les roches précédentes qui offrent le plus fréquemment cette modification de forme.

Nous avons dit plus haut que les filons proprement dits étaient généralement remplis par des substances métalliques, mais tel n'est pas uniquement le gisement des métaux utiles. Ceux-ci présentent d'autres manières d'être dans la nature, et, sans compter les gisements stratifiés dont les caractères rentrent dans ceux expliqués ci-dessus, les métaux se présentent assez souvent sous des formes qui échappent en quelque sorte à toute définition, en gîtes *irréguliers,* suivant l'expression admise par M. Burat, qui a fait de ce sujet une étude approfondie, et dont nous ne ferons que citer ici les observations intéressantes. Tantôt ce sont des *veines* qui ne diffèrent des filons que par leur irrégularité d'allure, par la disposition confuse et la nature des métaux constituants; tantôt ce sont des *amas* de toutes dimensions couchés ou debout relativement à la stratification du terrain encaissant; d'autres fois ce sont des veinules ou particules isolées qui imprègnent des portions de terrain. Les gîtes irréguliers ont des formes indéfinies ; ils

sont essentiellement liés dans toutes les circonstances de leur gisement et de leur composition à la nature des roches encaissantes. Du reste, les minerais qui proviennent de ces gîtes se distinguent, dans la plupart des cas, des minéraux qui remplissent les filons par leur texture beaucoup moins cristalline, souvent même compacte.

Tout ce que nous venons de dire jusqu'à présent sur la structure s'applique surtout à la disposition générale des grandes masses; nous ne dirons rien des cas de structure plus particulière, tels que *concrétions, géodes*, divisions *pseudo-régulières, nodules, rognons, nids à cristaux*, pour la recherche desquels la sonde ne doit pas être employée, et nous nous hâterons d'arriver à l'étude des matériaux qui composent l'écorce solide du globe sous le rapport de l'âge et l'ordre de superposition.

DES TERRAINS.

Considérés sous le point de vue de leur âge, les matériaux constitutifs de la masse terrestre forment ce que l'on nomme les *terrains*, ou ensemble de masses minérales stratifiées ou non stratifiées, liées entre elles par des relations intimes qui en font un tout complet qu'on ne saurait désunir et qui ont été créées, les unes et les autres, synchroniquement ou alternativement pendant une même période géologique. Or, que faut-il d'abord entendre par ces expressions de masses minérales *stratifiées, non stratifiées?* Le sens attaché à ces mots comporte une idée d'origine, d'après laquelle on peut tout d'abord partager les terrains en deux groupes distincts, *stratifiés* ou *non stratifiés*.

En effet, nous avons vu précédemment que deux causes bien distinctes avaient, immédiatement après la formation de lá première pellicule consolidée, commencé à agir d'une manière simultanée : l'une, préexistante, avait d'abord posé les fondements de l'édifice souterrain; l'une et l'autre réunies avaient ensuite contribué également à achever la construction de l'édifice. Ces deux causes différentes, *ignée* et *aqueuse*, n'ont pas cessé d'agir à la fois dans tous les temps; les effets qu'elles ont produits ont donc été alternatifs ou synchroniques, et l'histoire des uns ne peut guère marcher sans celle des autres. Toutefois, et pour plus de simplicité, nous examinerons dans des chapitres à part l'histoire chronologique de chacun d'eux, en ayant soin de faire ressortir les rapports qui les unissent pour chaque groupe, dans le sens de la profondeur ou dans celui de l'espace.

Et d'abord, quels sont les caractères généraux au moyen desquels on peut distinguer cette double origine? Un simple regard jeté sur l'ensemble des matériaux qui constituent l'écorce solide suffira pour en faire sentir les différences. Ces matériaux sont de structure et de composition différentes. Les uns sont disposés en *couches*, c'est-à-dire en masses qui se continuent sur une longue surface, en présentant une épaisseur sensiblement uniforme sur toute leur étendue; elles sont, comme l'on dit, *stratifiées*. Les autres nous apparaissent sous forme de masses irrégulières, qui se répandent sur des espaces incomparablement plus considérables que les précédents, avec une puissance qui dépasse de beaucoup celle de tous les dépôts stratifiés; par opposition à ces derniers, on les a nommés *non stratifiés*. Dans les premiers abondent les débris organisés de toute espèce, depuis les couches les plus inférieures

jusqu'aux plus supérieures; dans les seconds, au contraire, on ne remarque pas le moindre vestige de ces êtres. L'état des terrains non stratifiés est fréquemment cristallin; les cristaux que l'on distingue dans la masse sont enchevêtrés les uns dans les autres, et tout, dans leur texture, indique un état préalable de fusion ignée; leur dureté est considérable; la silice et les silicates en forment la base. Tels sont les granits, les porphyres, les basaltes, les scories volcaniques, etc., toutes roches composées exclusivement de quartz, feldspath, mica, pyroxène, etc., dans lesquelles la silice et les silicates à bases multiples jouent effectivement le rôle le plus important. Si, dans la composition de ces roches, on rencontre accidentellement quelques autres éléments, ils y existent en faible quantité et ne comptent, pour ainsi dire pas, relativement à la masse. Les roches, en masses irrégulières et cristallines, forment réellement la charpente de l'édifice souterrain, car elles enveloppent sans discontinuité la masse fluide qui occupe le centre de la terre, forment les principales saillies qui en dessinent le relief, constituent l'axe des grandes chaînes de montagnes, donnent naissance aux points les plus élevés du globe, et si elles n'apparaissent pas partout à l'extérieur, c'est que les anfractuosités plus ou moins profondes qui accompagnent nécessairement leur relief sont remplies par les dépôts plus ou moins réguliers d'origine aqueuse. Mais, partout où leurs sommets apparaissent, il est facile de les reconnaître à leurs formes abruptes, à leur élévation, à leur direction même, et enfin à un ensemble de caractères physiographiques que la moindre habitude d'observer en géologie permettra toujours de distinguer, dès le premier abord, à des distances même éloignées.

Au contraire, les diverses roches qui composent les dépôts stratifiés offrent une texture plus fréquemment terreuse, grenue, élastique; elles sont rarement cristallines; leur dureté est moins grande. Elles se décomposent plus facilement à l'eau; ce ne sont plus des silicates à bases terreuses comme dans le groupe précédent, ce sont des sels à bases alcalines, tels que des carbonates de chaux, des sulfates de la même base, des sulfates de baryte, du chlorure de sodium, des charbons fossiles, et, dans certains cas relativement rares, quelques substances métalliques, telles que le peroxyde de fer hydraté que l'on rencontre quelquefois en couches assez puissantes. Tout, dans la structure, la composition et la disposition particulière des éléments qui constituent les dépôts stratifiés, indique un mode de formation par transport, ou par sédimentation après suspension mécanique. Dans quelques cas exceptionnels, les dépôts se sont formés par précipité après dissolution; alors seulement leur structure est cristalline. Enfin, leur configuration générale, leurs contours extérieurs, leur relief, ne sont pas moins caractéristiques. Leurs formes sont plus arrondies que celles des masses non stratifiées, leurs pentes sont moins abruptes, leurs sommets moins déchiquetés; les hauteurs qu'elles atteignent sont moins considérables; elles forment rarement à elles seules de véritables chaînes de montagnes; elles accompagnent seulement à l'extérieur les roches cristallines qui constituent l'axe de celles-ci, en recouvrant les roches extérieurement et en s'inclinant contre leurs revers. Les flancs sont souvent sillonnés en divers sens, ravinés à la surface ou traversés par des fissures profondes, remplies de roches préexistantes ou de corps organiques transportés par les eaux, ou creusés par des cavernes dont les parois sont

mousses ou polies, usées par des courants souterrains, et remplies, comme dans le cas précédent, de débris pierreux ou organiques. Ces roches forment assez généralement, et surtout dans les pays qui n'ont pas été placés sous le coup immédiat des grandes dislocations qui ont remué à différentes époques la masse de la terre, des plateaux horizontaux ou peu inclinés sur une longue étendue; en en mot, et pour compléter l'idée que nous devons nous former des terrains stratifiés, nous citerons le fameux bassin dont Paris occupe le centre, et dans lequel tous ces caractères apparaissent avec la dernière évidence.

Examinons maintenant dans quel ordre sont disposés chronologiquement les terrains, soit *cristallins* ou *non stratifiés*, soit *sédimentaires* ou *stratifiés*.

PRINCIPES DE DIVISION DES TERRAINS.

Quels sont les caractères au moyen desquels on peut diviser les terrains? Sur quels principes sont fondées leur nomenclature et leur classification? Sans doute, la série des terrains stratifiés ne comporte pas le même mode de partage que les terrains non stratifiés, car l'action aqueuse, qui a présidé à la formation des premiers, ayant agi de bas en haut, et augmenté successivement l'épaisseur de l'écorce solide par l'addition de nouvelles couches, il est évident que les plus superficielles y seront en même temps les plus modernes; ce caractère est inapplicable d'une manière rigoureuse aux terrains non stratifiés qui se sont formés de l'extérieur à l'intérieur et de haut en bas, par l'addition successive des parties refroidies à la croûte enveloppante déjà consolidée.

Les nombreux débris de corps organisés que contiennent les dépôts sédimentaires sont de véritables médailles qui manquent aux masses ignées; rappelons-nous à ce sujet que les faunes ont changé avec les temps géologiques, et que l'organisation, au moins pour certaines espèces, a suivi un progrès croissant dans la série ascendante de ces temps. Enfin, la direction et l'inclinaison des couches des dépôts stratifiés donnent un troisième caractère non moins important que les précédents, et il a sur ceux-ci l'avantage de faire ressortir la nature des causes qui ont amené les changements dans les temps et la succession des périodes géologiques. Quelques explications à ce sujet ne seront peut-être point déplacées ici.

« L'arrivée au jour, dit M. de Beaumont, des grandes masses « de roches cristallines, est due, au moins en grande partie, « à un phénomène général qui, chaque fois qu'il se repro- « duit, s'étend sur une portion considérable de la surface de « la terre, le long d'une zone qui l'embrasse suivant la moitié « d'un de ses grands cercles. La masse liquide qui occupe « l'intérieur du globe éprouve un retrait graduel par suite de « son refroidissement progressif. La croûte solide, forcée par « son propre poids de suivre ce mouvement interne, s'écrase « sur elle-même, produit une ride à la surface de la terre, et, « réagissant sur la matière pâteuse située au-dessous d'elle, « force une partie de cette dernière à s'élever, en formant les « axes d'un système de chaînes de montagnes... » Or, un pareil mouvement ne peut pas se faire sans un dérangement et un déplacement plus ou moins considérables sur les couches solides ou même liquides en butte à cette agitation. C'est ainsi que les couches sédimentaires ont perdu si souvent leur horizontalité première, et c'est ainsi que leur inclinaison et leur

direction doivent être dans chaque terrain, c'est-à-dire entre deux révolutions successives de la surface du globe, plus ou moins en rapport avec les axes des montagnes soulevées qui marquent précisément l'époque de ces révolutions. Des phénomènes de ravinages ont dû résulter également du déplacement et du retrait des masses liquides.

En résumé, les moyens de classification des terrains stratifiés généralement mis en usage par les géologues peuvent être zoologiques ou stratigraphiques. Il est sans aucun doute utile, pour une classification rationnelle, d'user à la fois de ces caractères réunis, en insistant, pour chaque terrain, sur celui qui paraît lui imprimer une physionomie plus spéciale. Pour les terrains non stratifiés, leur classification appartient plus spécialement au domaine de la minéralogie.

On a donc, d'après cet ensemble de considérations, divisé les terrains en six grandes classes qui sont, par ordre ascendant :

1° Les terrains ignés ou primitifs;
2° Les terrains de transition;
3° Les terrains secondaires;
4° Les terrains tertiaires;
5° Les terrains quaternaires ou diluviens;
6° Les terrains modernes ou post-diluviens.

Chacune des classes a été subdivisée en groupes. La description de chacun de ces groupes nous dispensera de donner ici leurs caractères généraux. Nous avons cru devoir nous rapprocher autant que possible de la classification et de la nomenclature des terrains d'après la carte géologique de France de MM. Élie de Beaumont et Dufresnoy. Cette classification a

l'avantage d'être généralement connue et de se prêter surtout très-bien aux divisions géologiques de la France.

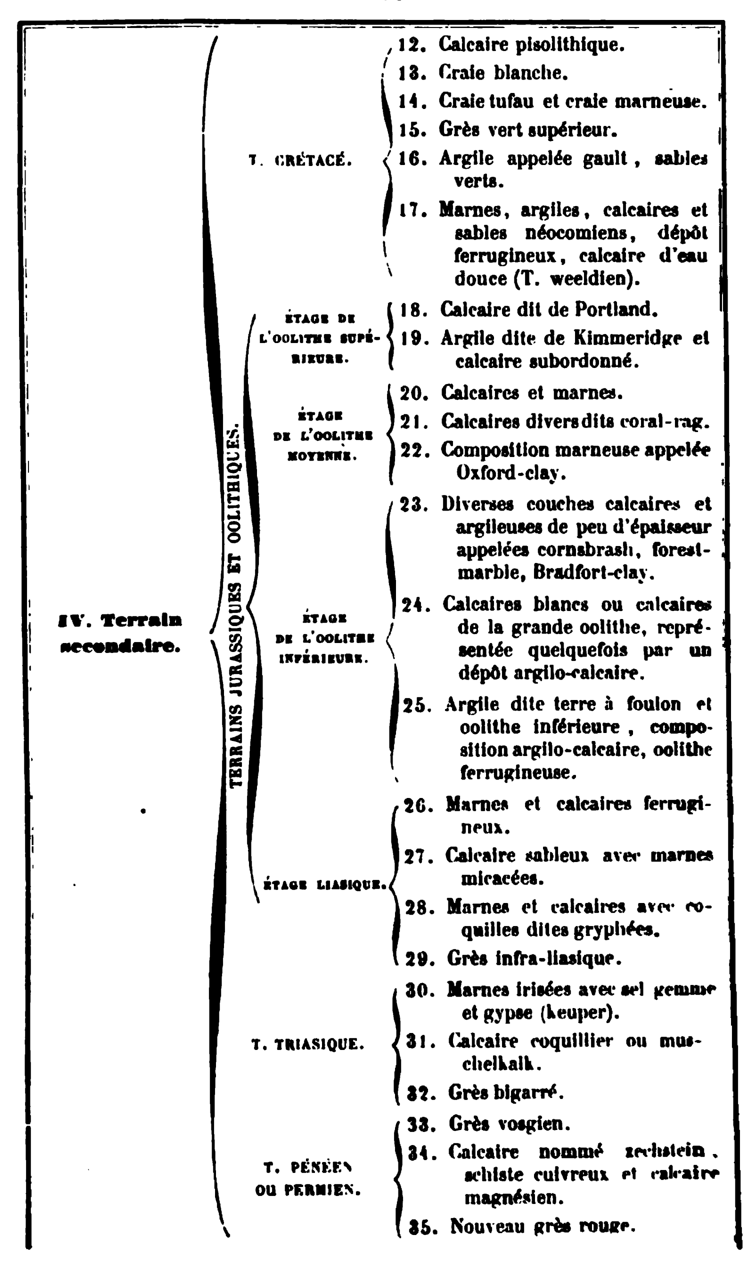
Le tableau suivant fera comprendre, d'un seul coup d'œil, l'ordre de succession des différentes couches qui composent, par leur ensemble, l'écorce du globe, en partant de la surface jusqu'à la masse planétaire incandescente.

TABLEAU SYNOPTIQUE

DES TERRAINS

QUI COMPOSENT L'ÉCORCE DU GLOBE TERRESTRE.

Terrains	Étages	Couches
I. Terrain moderne ou post-diluvien.		1. Terre végétale, éboulements, atterrissements, alluvions des vallées, dépôts dans la mer, madrépores, dépôts divers des sources, tourbes, déjections des volcans actuels.
II. Terrain diluvien ou diluvium.		2. Cailloux roulés et sables qui constituent le flanc des vallées, le sol des déserts, qui couvrent certains plateaux, remplissent les cavités et les boyaux des terrains inférieurs, blocs erratiques. Débris de grands animaux.
III. Terrain tertiaire.	T. PLIOCÈNE.	3. Sables, grès, poudingues, marnes et calcaires généralement marins, avec quelques dépôts lacustres, crag des Anglais.
	T. MIOCÈNE.	4. Faluns, molasse, calcaire d'eau douce et lignites de la Provence, travertin supérieur ou meulières de la Beauce, sables et grès de Fontainebleau.
	T. ÉOCÈNE.	5. Travertin moyen et meulières de la Brie, marne et dépôts gypsifères. 6. Travertin inférieur dit de St-Ouen, avec marnes subordonnées. 7. Sables et grès de Beauchamps. 8. Calcaire grossier, sables glauconifères. 9. Argile plastique avec lignites. 10. Sables marins inférieurs passant quelquefois au grès. 11. Sables et calcaire lacustre, tuf.



Terrain	Groupe	Étage	Couches
IV. Terrain secondaire.		T. CRÉTACÉ.	12. Calcaire pisolithique.
			13. Craie blanche.
			14. Craie tufau et craie marneuse.
			15. Grès vert supérieur.
			16. Argile appelée gault, sables verts.
			17. Marnes, argiles, calcaires et sables néocomiens, dépôt ferrugineux, calcaire d'eau douce (T. weeldien).
	TERRAINS JURASSIQUES ET OOLITHIQUES.	ÉTAGE DE L'OOLITHE SUPÉRIEURE.	18. Calcaire dit de Portland.
			19. Argile dite de Kimmeridge et calcaire subordonné.
		ÉTAGE DE L'OOLITHE MOYENNE.	20. Calcaires et marnes.
			21. Calcaires divers dits coral-rag.
			22. Composition marneuse appelée Oxford-clay.
		ÉTAGE DE L'OOLITHE INFÉRIEURE.	23. Diverses couches calcaires et argileuses de peu d'épaisseur appelées cornsbrash, forest-marble, Bradfort-clay.
			24. Calcaires blancs ou calcaires de la grande oolithe, représentée quelquefois par un dépôt argilo-calcaire.
			25. Argile dite terre à foulon et oolithe inférieure, composition argilo-calcaire, oolithe ferrugineuse.
		ÉTAGE LIASIQUE.	26. Marnes et calcaires ferrugineux.
			27. Calcaire sableux avec marnes micacées.
			28. Marnes et calcaires avec coquilles dites gryphées.
			29. Grès infra-liasique.
		T. TRIASIQUE.	30. Marnes irisées avec sel gemme et gypse (keuper).
			31. Calcaire coquillier ou muschelkalk.
			32. Grès bigarré.
		T. PÉNÉENS OU PERMIENS.	33. Grès vosgien.
			34. Calcaire nommé zechstein, schiste cuivreux et calcaire magnésien.
			35. Nouveau grès rouge.

V. Terrain intermédiaire ou **de transition.**	T. HOUILLER et CARBONIFÈRE.	36. Grès, schistes et argiles avec couches de houille.
		37. Grès quartzeux dit mill-stone-grit.
		38. Roches calcaires dites calcaire de montagne.
	T. DU VIEUX GRÈS ROUGE * OU T. DEVONIEN.	39. Grès et schistes.
		40. Calcaire et schistes calcaires.
		41. Grès quartzeux, schistes, poudingues.
	T. ARDOISIER OU SILURIEN ET CAMBRIEN.	42. Schistes et grès quartzeux ou grauwackes avec fossiles et roches calcaires subordonnées.
		43. Schistes très-fossiles et quartzifères.
		44. Schistes verdâtres avec fer oxydulé.
VI. Terrains ignés.	T. PRIMITIF STRATIFIÉ.	1. Granit à petits grains, gneiss, leptinite, micaschiste, pegmatite, protogine, serpentine, etc.
	T. PRIMITIF NON STRATIFIÉ.	2. Granit à gros grains, syénite, pegmatite, etc.
	T. D'ÉPANCHEMENT.	3. Porphyre rouge, gris ou vert en filons, dans les terrains primitifs ou de transition.
		4. Porphyre rouge, violet ou gris verdâtre, en filons dans les terrains primitifs de transition ou houillers.
		5. Porphyre ou ophite brun verdâtre pénétrant jusque dans les terrains pénéens.
		6. Serpentine brune, rouge ou verte, en filons, dans les terrains triasiques et dans les terrains antérieurs.
		7. Diorites et amphibolites ayant pénétré jusque dans les terrains jurassiques et crétacés.
		8. Trachytes, basaltes, terrains d'épanchement de la période tertiaire.
	T. VOLCANIQUE ET MASSE PLANÉTAIRE.	9. Laves, ponces, cendres, tuf et scories volcaniques, terrains d'épanchement de la période actuelle, ayant leur source à la zone ou région souterraine de l'écorce non encore solidifiée.
		10. Masse planétaire incandescente et fluide contenant le principe des phénomènes magnétiques.

Les différentes couches qui composent la série des terrains suivent invariablement l'ordre de superposition qu'elles occupent dans ce tableau. Ainsi, si l'une quelconque des couches se rencontre dans une localité, on est certain qu'elle en recouvre peut-être d'autres inférieures de la série, mais jamais de supérieures, si ce n'est dans les cas très-rares de renversements.

Ceci étant bien entendu, nous allons décrire successivement chaque terrain en commençant par les terrains inférieurs. Cette méthode, généralement adoptée, est plus rationnelle que toute autre ; les terrains supérieurs n'étant souvent que le résultat de la destruction des terrains inférieurs, il vaut mieux connaître les éléments qui constituent ceux-ci et que nous retrouvons dans la composition des premiers.

Nous indiquerons pour chaque terrain une partie des désignations sous lesquelles ils sont connus, cette synonymie serait très-difficile à rendre complète. Beaucoup de géologues, à tort ou à raison, voulant imposer une nouvelle nomenclature, nous ne pouvons les suivre sur cette route qui rend l'étude de la géologie si épineuse. Nous nous bornons à émettre le vœu qu'un génie puissant ou un congrès scientifique vienne imposer à la géologie une nomenclature invariable, comme celle qui régit la chimie.

TERRAINS IGNÉS.

Nous voyons les terrains d'origine ignée figurer à la base du tableau. En effet, ce sont eux qui constituent la charpente, l'ossature du globe. Consolidés à la surface primitive ou dans les nombreux filons par lesquels ils sont venus, à toutes les époques géologiques, s'épancher à la surface des terrains stra-

tifiés, ils existent encore à l'état pâteux ou fluide sous l'enveloppe solide.

MASSE PLANÉTAIRE INCANDESCENTE ET FLUIDE.

On comprend parfaitement que ces terrains échappent à nos investigations ; ils ne se révèlent à nous que par les effets qu'ils ont produits à certaines époques, qu'ils produisent encore de nos jours, et parmi lesquels ceux qui nous frappent le plus sont les tremblements de terre, les éruptions volcaniques et les sources thermales. C'est dans cette masse planétaire, ainsi que nous l'avons déjà dit, que les savants placent la cause des phénomènes magnétiques qui agissent sur l'aiguille aimantée en lui imprimant trois séries d'oscillations, savoir: les oscillations diurnes, qui s'exécutent dans les vingt-quatre heures ; les oscillations annuelles, qui varient suivant les différentes positions du globe terrestre par rapport au soleil ; enfin celles qui ne se font sentir qu'en un nombre d'années assez considérable, que l'on évalue à sept cents, pour une seule évolution. En ce moment cette dernière s'effectue vers l'ouest; on présume qu'arrivée en un certain point elle reprendra son mouvement vers l'est.

TERRAIN VOLCANIQUE.

Les terrains volcaniques, produits des épanchements qui ont eu lieu dans la période tertiaire et qui se continuent encore de nos jours par les éruptions des volcans, peuvent se diviser sous le rapport de leur âge, de leur composition minéralogique et de la forme des massifs, en deux groupes principaux :

1° Les terrains qui proviennent d'éruptions, en grande partie contemporaines des temps historiques et actuels, ayant leur

source à la zone ou région souterraine de l'écorce non encore solidifiée. La nature des roches qui les composent est assez variable, mais généralement caractérisée par une texture cellulaire et un peu spongieuse. Le féldspath, le pyroxène ou l'amphigène, unis à quelques métaux accidentels, constituent les *laves*, les *ponces*, les *tufs* et les *scories volcaniques* que nous voyons former ces montagnes coniques, dont ils sont sortis et sortent encore, par des cratères, sous formes de coulées en bandes longues et étroites. Ces roches, empruntées à la partie la plus inférieure de l'écorce du globe, viennent former le groupe le plus supérieur des terrains volcaniques.

Le nombre des volcans actifs connus dépasse deux cents ; ces divers volcans sont généralement groupés autour d'un centre ou bien suivant des lignes de direction plus ou moins régulières; ils constituent des contrées plus ou moins étendues, généralement montagneuses.

2° Les terrains qui proviennent de déjections ou d'éruptions plus anciennes, mais cependant de l'époque tertiaire. Les uns, *trachytiques*, ont une composition feldspathique très-variée, dont les détails minéralogiques sont très-caractéristiques ; ils forment des massifs accumulés en groupes de montagnes à cimes élevées, sans cratère d'éruption et dont les circonstances d'émission sont difficiles à pénétrer. Les autres, *basaltiques*, d'une physionomie toute spéciale, due à leur structure nette et pseudo-régulière, existent sous forme de nappes étendues, de filons, de masses isolées qui indiquent bien des circonstances d'éruption, mais différentes de celles que nous voyons aujourd'hui.

Les *trachytes* et les *basaltes* constituent la masse des volcans éteints, et forment la base de ceux encore en activité ; ces ter-

rains semblent s'être déversés sur le sol dans un état pâteux, et, suivant la pente plus ou moins forte de la surface sur laquelle ils s'épanchaient, avoir parcouru des distances plus ou moins grandes en formant à la superficie des ondulations plus ou moins prononcées, suivant la vitesse d'écoulement et les obstacles rencontrés. Les basaltes, un peu plus fluides, se sont souvent étendus plus loin du point de déjection que les trachytes et en couches plus minces. Par un effet de retrait, lors du refroidissement, ils se sont divisés en prismes de 3, 4, 5, 6, 7 et 8 côtés. Lorsque la roche est dénudée on aperçoit cette structure prismatique, qui est fort remarquable et constitue la merveilleuse grotte de Fingal, en Écosse, et la chaussée des Géants en Islande.

L'action volcanique qui a donné lieu à ces terrains a commencé à agir depuis la période tertiaire inclusivement, et a continué, sans doute sans interruption, jusqu'à la période actuelle. Indépendamment des minéraux et des roches qui se trouvent empâtés dans le terrain volcanique sous forme de cristaux ou de fragments, on en voit aussi qui s'y trouvent disposés d'une manière analogue aux sublimations qui se font dans les cheminées de nos hauts-fourneaux ; ce sont notamment du sel marin, du sel ammoniac, de l'acide borique, de l'arsenic sulfuré, du soufre, etc.

Parmi les gîtes principaux des terrains volcaniques, l'on peut citer l'Eifel, dans la Prusse rhénane ; l'Auvergne, en France ; le Vésuve, en Italie[1] ; l'Etna, en Sicile ; l'Hécla, en Islande, etc.

[1] Un sondage que nous avons exécuté dans le jardin du roi, à Naples, pour l'établissement d'une fontaine, a été pratiqué à 22 mètres au-dessus du niveau de la mer. Après 10^{m} 30 de terre végétale et de remblai, la sonde est entrée dans le tuf volcanique qui forme une partie des mon-

Le sol qui résulte de la décomposition des trachytes est assez aride, mais si, à la potasse et à la soude qui lui sont fournies par le féldspath, il s'adjoint, par la présence du pyroxène, de la chaux en quantité suffisante, il est susceptible de s'améliorer. C'est ce qui arrive lorsqu'il se trouve en contact avec un sol qui contient cette substance. Ainsi, dans certaines localités, deux cultures voisines, l'une sur un sol calcaire, l'autre sur un sol trachytique, sont à leur point de jonction plus fertiles que partout ailleurs.

Le sol formé par les basaltes est beaucoup plus fertile naturellement que le sol trachytique. La composition du basalte étant le feldspath uni à 5 ou 10 pour 100 de pyroxène avec un peu de fer titané, et le pyroxène étant à base de chaux et de magnésie, on conçoit que ces éléments de fertilité puissent donner aux sols qui en dérivent des avantages très-grands.

Les laves, les ponces, les tufs et les scories volcaniques, roches plus ou moins meubles naturellement, renferment, comme éléments propres à composer un sol végétal, des substances analogues aux roches précédentes d'origine plus ancienne ; elles contiennent également le pyroxène et par consé-

tagnes entourant la ville et notamment celle percée par le tunnel connu sous le nom de *Grotte de Pausilippe*. A 69 mètres, la sonde a pénétré dans le tuf vert d'Ischia, qu'elle a quitté à 102m 40 pour entrer dans des alternances d'argiles, de sables, de cendres volcaniques qui se sont prolongées jusqu'à 205m 40. A cette profondeur on a rencontré un nouveau tuf vert superposé à des argiles sableuses mélangées de trachytes et de ponces formant le passage du terrain volcanique au terrain tertiaire subapennin, bien caractérisé par ses grès et ses marnes coquillières qui se sont prolongés jusqu'à 458 mètres, et on est entré enfin dans le macigno. Le sondage est allé jusqu'à 467 mètres. Trois nappes d'eau ont été rencontrées, à 112, à 253 et à 337 mètres.

quent la chaux et la magnésie, qui font qu'exposées à l'air elles se désagrégent avec rapidité et produisent une terre arable assez bonne.

Ces roches forment, en France, une grande partie des montagnes de l'Auvergne et donnent naissance à une belle végétation qui varie suivant la prédominance de telle ou telle substance sous le sol et sa position géographique ; ainsi la vigne, l'abricotier réussissent très-bien dans les lieux bien exposés qui sont sur les scories, tandis que dans les autres points le pommier, le poirier, le noyer donnent des récoltes abondantes ; aussi tout fait présager que les détritus de ces montagnes, en arrivant dans certaines vallées, y porteront les éléments de richesse dont elles sont dépourvues aujourd'hui ; c'est en effet le phénomène qui s'est accompli dans la grande vallée de la Limagne, dont le sol calcaire est d'une si grande fertilité.

Les terrains volcaniques fournissent à l'industrie et aux constructions quelques éléments précieux : ainsi *la ponce* que l'on emploie au polissage de tous les objets délicats, soit réduite en poudre assez fine, soit même en morceaux, tels que la nature les fournit. On la fait depuis quelques années entrer dans la fabrication des savons, où elle produit sur la peau les mêmes effets qu'en obtiennent les peaussiers et les fabricants de parchemin.

Certaines scories volcaniques, désignées sous le nom de *pouzzolanes* et de *ferrugines*, entrent avec des avantages immenses dans la composition des mortiers hydrauliques, et particulièrement lorsqu'ils sont destinés à recevoir l'action des eaux salées.

Les *basaltes* proprement dits, par leur dureté et par la forme qui les caractérise souvent, sont employés comme pavage ;

malheureusement le poli que cette roche prend facilement est un défaut qui en limite l'usage. Une variété de cette roche, appelée vulgairement *lave de Volvic,* et qu'on exploite principalement en Auvergne, s'emploie comme dallage, et a servi à faire quelques trottoirs à Paris. Quoique son tissu celluleux lui ôte en grande partie les inconvénients que présente le basalte, on semble cependant en abandonner l'usage. La lave de Volvic, par sa dureté moyenne, est susceptible d'être taillée et même sculptée. Sa teinte sombre contribue à donner aux monuments un aspect sévère fort beau, surtout lorsque les constructions sont récentes et rehaussées de quelques ornements. Elles ont l'air d'avoir été épargnées par l'action destructive du temps, tout en ayant profité du cachet qu'il imprime d'une manière si heureuse aux anciens édifices. Au reste, cette roche est peu altérable ; la cathédrale de Clermond-Ferrand en est un exemple.

La dureté et, par suite, le beau poli que le basalte est susceptible de recevoir l'ont fait rechercher pour la confection de certains objets d'art ; nos musées contiennent une foule de chefs-d'œuvre faits avec cette matière. On en fabrique aussi quelques mortiers pour les préparations chimiques, et même des enclumes pour le battage de l'or en feuille.

Les trachytes servent en partie aux mêmes usages que les basaltes lorsqu'ils sont peu susceptibles de se décomposer : certains sarcophages anciens sont faits d'une variété de cette roche.

Les bains du mont Dore et la cathédrale de Cologne sont construits en trachyte.

TERRAINS D'ÉPANCHEMENT.

On donne le nom de terrains d'épanchement à certains amas

transversaux ou à certaines couches accidentelles accumulées dans presque tous les terrains, sans stratification commune avec eux et présentant tous les caractères de cristallisation qui appartiennent aux roches d'origine ignée. Ces roches se sont injectées dans toutes les fissures produites lors des dislocations qui ont agité le sol. Nous les retrouvons donc à presque toutes les époques géologiques remplissant les fissures du sol brisé et débordant quelquefois à la surface. Leur composition semble avoir subi des modifications suivant leur âge et les roches qu'elles ont eu à traverser pour arriver au jour. Ces terrains, peu répandus, n'étant que par de très-rares exceptions attaqués par la sonde, nous nous bornerons à en indiquer les principaux caractères.

Les plus répandus sont les *porphyres ;* il n'est guère possible d'établir des relations chronologiques entre les diverses espèces qui constituent l'ensemble des roches désignées sous ce nom. Telle espèce, qui domine et caractérise un pays où elle se rencontre exclusivement, ne se retrouve plus avec les mêmes caractères dans une contrée voisine. Leurs teintes varient du rouge au violet et du gris au vert.

Les contrées et montagnes qui appartiennent à ce groupe des terrains d'épanchement ont un aspect particulier. D'abord ces pays sont peu étendus, ce sont même assez souvent des surfaces morcelées ; les montagnes, jamais aiguës ni déchirées, mais plutôt coniques, surbaissées ou arrondies, ont une faible élévation ; la structure en grand est massive ; quelquefois elle présente des retraits prismatoïdes ou sphéroïdaux, analogues à ceux des roches volcaniques.

L'absence totale de calcaire est une des causes qui rendent ces terrains peu propres à la culture. Le défaut aussi de toute

matière minérale poreuse est encore fort préjudiciable à leur fertilité. On doit donc s'appliquer à y introduire des amendements poreux et calcaires, des marnes, des cendres, de la chaux, mais pour les chauler il faut des précautions particulières. Les montagnes des Vosges renferment beaucoup de sols qui reposent sur le porphyre et qui sont recouverts de pâturages nourrissant une assez grande quantité de bestiaux. Le seigle, le sarrasin et la pomme de terre y réussissent assez bien ; mais toute autre culture y est médiocre. Elles sont en outre couvertes par des forêts de hêtres et de sapins ; dans les parties inférieures, les essences forestières ordinaires donnent de beaux bois ; le merisier y est exploité pour son fruit, qui fournit le kirsch-wasser, un des produits industriels du pays.

Les *serpentines*, les *diorites*, les *amphibolites* et les *ophites* occupent encore des espaces plus restreints, et offrent à la culture à peu près les mêmes éléments.

Les roches porphyriques offrent peu de minéraux disséminés, et les gisements de métaux qu'elles contiennent y existent à l'état d'amas, ou plus fréquemment de filons. Parmi les roches d'épanchement, les diorites et les amphibolites sont plutôt des roches de cabinets de géologie que des matières susceptibles d'emploi dans les arts ; cependant elles entrent comme matière d'ornementation, associées au marbre, dans la décoration des édifices somptueux.

Les serpentines communes, désignées sous le nom de *pierre ollaire*, servent à la fabrication de poteries grossières en Corse et dans le Valais suisse. On tourne la matière brute et sans autre préparation ; elle peut supporter le feu et être propre à tous les usages domestiques. D'après ce qui précède, il est inutile d'ajouter que la pierre ollaire est une excellente ma-

tière réfractaire et que par conséquent elle peut être utilisée dans la construction des fourneaux, calorifères, etc.

La serpentine noble est employée surtout en Italie et particulièrement à Florence, pour l'exécution de différents objets d'art, statuettes, vases, pendules, chapelets, etc.; ses teintes sont le vert, tantôt sombre, tantôt clair et veiné de noir.

Les porphyres, très-variables dans leurs couleurs et dans la disposition des éléments qui les composent, s'emploient aussi comme pierre de luxe dans la décoration des palais; malheureusement leur dureté assez grande, et par suite, les dépenses assez considérables nécessaires pour leur donner un beau fini, en restreignent beaucoup l'emploi. Les anciens se servaient souvent de porphyre rouge antique : nous avons au Louvre de belles antiquités égyptiennes en cette matière. L'intérieur des églises byzantines et les mosquées contiennent souvent des bas-reliefs et des colonnes taillées dans cette roche. Les Grecs tiraient du mont Taygète, et pour des usages analogues, un porphyre vert imitant la peau de certains serpents. Une variété de cette roche, le *porphyre protogénique* que l'on tire du Brabant, a été essayée pour le pavage de la ville de Paris. C'est un pavé très-résistant, mais bien qu'employé en fragments de petites dimensions, le poli qu'il prend sous l'action des voitures et des fers des chevaux le rend très-glissant, ce qui semble faire renoncer à son emploi. Réduit en petits morceaux, il est d'un usage avantageux pour les routes macadamisées.

TERRAIN PRIMITIF NON STRATIFIÉ.

Ces terrains forment, en quelque sorte, la grande assise qui supporte tous les autres; leur origine serait la matière molle

et ignée, refroidie à la surface et allant à l'intérieur se fondre au noyau encore incandescent. Ils constituent les terrains granitiques proprement dits, c'est-à-dire les *granites à gros grains*. les *syénites* et les *pegmatites*.

Le quartz étant un élément dominant de ces roches et ne se décomposant pas, il persiste, tandis que le feldspath, se réduisant en argile très-fine, est disposé à s'écouler avec les eaux lorsque la surface est en pente; de là résulte, sur les points élevés, un sol formé de sables siliceux très-avides d'eau et se desséchant rapidement, tandis que les bas-fonds, qui reçoivent les produits du feldspath décomposé, sont argileux et froids. (Quelques auteurs pensent que la soude et la potasse contenues dans les feldspaths sont cause du peu de fertilité des terrains granitiques; d'autres, au contraire, croient que c'est une erreur et que la présence des alcalis est une des causes favorables à la culture.) Dans le premier cas toute culture est presque inutile; dans le second, des landes et des marécages permettent la production de quelques pâturages, la culture du sarrasin et du seigle. En somme, à moins d'une grande richesse d'engrais, le pays dont le sol arable repose sur le granit est assez généralement pauvre. La chaux, dans les terrains argileux, serait d'un bon emploi si l'on pouvait se la procurer à bas prix.

TERRAIN PRIMITIF STRATIFIÉ.

La stratification que l'on observe dans les terrains primitifs supérieurs a donné lieu à une série de discussions, tendant à expliquer cette disposition en strates semblables à celles que l'on observe dans les terrains d'origine sédimentaire. Hutton a supposé que ce terrain avait été déposé sous les eaux, sous forme d'argile, de sables, etc.; qu'ensuite il avait été fortement

chauffé par le voisinage de roches plutoniques ou ignées encore incandescentes ; qu'il en était résulté un changement complet dans la texture et dans le caractère des éléments de ces dépôts aqueux ; que ces mêmes éléments avaient pu se fondre, changer en partie de composition, perdre leurs fossiles et enfin cristalliser sous l'influence d'une forte pression. Mais M. Cordier et d'autres hommes éminents sur cette question attribuent la disposition des strates qu'affecte cette série de roches primitives au refroidissement graduel de la masse ignée qui laissait encore, par l'effet de sa fluidité, le jeu nécessaire aux substances composantes pour se cristalliser librement et se disposer suivant les lois de la pesanteur en plans plus ou moins horizontaux, ce qui leur donne une certaine analogie avec les terrains d'origine sédimentaire.

Ces terrains se composent du reste d'éléments assez semblables aux précédents, mais dans lesquels s'introduisent quelques nouveaux minéraux, et constituent des granits à grains plus petits que le *granit ancien*, des *gneiss* et des *micaschistes*.

Granit stratifié. Ce serait se faire une fausse idée de la nature des roches granitiques que nous avons décrites que de penser qu'elles forment seules l'enveloppe fondamentale de l'écorce solide, et qu'au delà de cette enveloppe elles n'ont plus envoyé de représentants. Les anciens géologues étaient imbus de cette croyance ; mais l'observation des faits n'a pas tardé à faire justice de ces idées préconçues. Dans plus d'une localité, des granits furent observés recouvrant des roches d'origine évidemment sédimentaire. Aux environs de Christiania, des granits et des syénites sont postérieurs à des calcaires fossilifères de l'époque de transition. Des masses de

granit et de syénites porphyroïdes sont intercalées en Norvége dans les terrains de sédiments réguliers, et ces masses débordent du grès rouge dans la formation du calcaire superposé. Dans les montagnes de l'Oisans il existe des granits, non plus seulement postérieurs aux terrains de transition, mais aux terrains jurassiques. Dans les Pyrénées, les granits se trouvent intercalés dans des couches calcaires de la formation crétacée inférieure. A Alençon, des blocs de granit sont superposés parfois à l'arkose et même à l'oolithe inférieure. Enfin un grand nombre de gisements et de relations minéralogiques semblables ont été observés en Suisse, en Allemagne, et dans plusieurs autres pays. En présence des faits multipliés et convenablement étudiés et approfondis, le doute n'était plus possible, et le granit n'a plus été considéré, ainsi qu'autrefois, comme enveloppe unique représentant la première pellicule solide. On a donc dû diviser ces roches en granit ancien non stratifié et en granit stratifié.

Si l'on joint à ces faits géognostiques ceux qui résultent de l'intersection si fréquente, dans les contrées de transition, des couches sédimentaires par des filons de roches granitiques, on ne sera plus éloigné de penser que la plupart des roches granitiques qui nous apparaissent à la surface de la terre sous forme de masses isolées ou de longues chaînes de montagnes, ne sont point nécessairement d'un âge antérieur à celui de tout terrain stratifié, mais qu'elles peuvent bien répondre sous ce rapport à des dépôts secondaires, même assez élevés, dans la série de ces terrains.

En résumé, ce terrain granitique nous montre les roches ignées se continuant depuis la période secondaire jusqu'à la période de transition où elles viennent se fondre avec cette

première couche primitive sous laquelle elles semblent avoir surgi pour venir s'épancher à différentes époques géologiques.

Ces terrains granitiques stratifiés couvrent des étendues considérables de pays ; ils forment des montagnes et chaînes de montagnes dont l'aspect varie et qui présentent quelquefois une très-grande élévation suivant l'époque du soulèvement. Le granit talqueux (protogyne) forme les montagnes les plus élevées du continent européen (le mont Blanc et la plupart des aiguilles qui l'accompagnent). Les granits stratifiés s'élèvent en certaines contrées à une hauteur qui dépasse 4,200 mètres au-dessus du niveau de la mer. Enfin, ce sont ces terrains qui présentent la plus grande uniformité, tant dans leur ensemble que dans leurs parties, sur toute la surface du globe.

Les éléments constituants du granit stratifié, étant plus fins que ceux du granit non stratifié, se désagrégent plus difficilement et donnent au sol arable les mêmes principes de stérilité ; ce que nous avons dit pour les uns s'applique donc rigoureusement aux autres.

Gneiss et micaschistes. — Les gneiss et les micaschistes sont les véritables types du terrain primitif stratifié. Ces roches offrent un caractère frappant d'origine mixte ; d'un côté, leur structure stratoïde les rapproche des roches d'origine aqueuse ; d'un autre côté, leur nature cristalline et leur composition les confondent insensiblement avec celles qui paraissent évidemment d'origine ignée. Ces roches occupent généralement les étages moyens et supérieurs des terrains primitifs ou cristallisés. Elles reposent immédiatement sur les roches que nous avons désignées comme ayant formé la première pellicule consolidée.

Les diverses roches plus ou moins stratoïdes qui constituent les terrains primitifs supérieurs sont très-répandues à la surface du globe ; cependant les massifs dans lesquels elles se montrent seules au jour sont rarement d'une grande étendue ; elles constituent parfois des assises élevées, et apparaissent également dans les contrées basses ; mais ce second cas est bien plus rare et les grandes plaines sont ordinairement recouvertes par les terrains secondaires, tertiaires ou plus modernes.

Les gneiss et les micaschistes, en se décomposant plus facilement que les terrains granitiques, donnent des sols arables qui, bien qu'encore assez rebelles à la culture, semblent plus propres à recevoir des améliorations. Dans les vallées il existe sur les gneiss des prairies maigres, mais qui, bien amendées, sont susceptibles de meilleurs produits. Dans les Alpes on voit de fort beaux arbres sur le flanc des montagnes, mais il est vrai que le sol naturel sur certains points est recouvert d'une couche d'humus moderne assez épaisse. Dans les Vosges on trouve également de belles forêts sur le flanc des montagnes de gneiss ; sur le pied et dans les vallées, les arbres fruitiers viennent parfaitement, à l'aide d'une bonne culture.

Les micaschistes sont assez répandus en France et se montrent partout avec les mêmes caractères, sauf quelques différences de teintes. Ils forment en grande partie le sol du Finistère, du Morbihan et de la Vendée. On les rencontre dans les Vosges, dans le Limousin, sur le versant des montagnes qui séparent la Loire du Rhin. Ils composent une grande partie des Cévennes et des Pyrénées.

L'amélioration des terrains de gneiss et de micaschistes demanderait l'introduction d'une certaine quantité d'argile, ou plutôt de marne argileuse. Malheureusement ces moyens

sont presque impraticables dans les pays où ces roches dominent, parce qu'ils sont souvent très-montagneux, privés de chemins, le plus ordinairement éloignés de centres populeux, et, par suite, des amendements et engrais qui en résultent : aussi n'est-ce que sur leur lisière avec les terrains sédimentaires que l'on peut aujourd'hui tenter l'introduction des cultures agricoles. Toutefois, on doit être bien convaincu par la vue de quelques lambeaux, très-circonscrits il est vrai, que ce terrain ne repousse pas la végétation et qu'un travail assidu peut en tirer parti. En effet, on rencontre dans les montagnes de petites pièces de terre sur les pentes les moins prononcées, entourées ou soutenues par des muraillages en pierres sèches, dans lesquelles les habitants font venir la plus grande partie des produits utiles à leur subsistance. Ce soutènement en pierres sèches s'oppose à l'entraînement du sol pendant les pluies, et c'est au moyen de l'humus fourni par la végétation des parties boisées supérieures qu'on apporte quelque remède au peu de fertilité naturelle de ces contrées.

Certaines roches subordonnées à ces terrains sont remarquables par l'abondance de métaux utiles aux arts et à l'industrie, et de gemmes qu'elles contiennent ; tels sont les quartz grenus schistoïdes du Brésil, aurifères ou diamantifères, etc. — Les roches calcaires de ces terrains ont en général une structure saccharoïde, due souvent au métamorphisme, et renferment presque toujours de la magnésie ou des minéraux contenant de l'oxyde terreux. Aussi, indépendamment du calcaire saccharoïde, y rencontre-t-on souvent de la dolomie, du cipolin et le plus grand nombre des plus beaux marbres connus. Elles sont quelquefois accompagnées de gypse également saccharoïde, ou plutôt de *karstenite* ou

gypse anhydre, et enfin d'une si grande quantité de minéraux disséminés, que, pour en faire l'énumération, nous serions obligés de relater ici presque toute la nomenclature minéralogique. Citons parmi les plus abondants le *grenat*, la *tourmaline*, le *disthène*, la *grammatite*, le *zircon*, etc. Mais c'est surtout par ses nombreux gîtes métallifères que ce terrain est remarquable. Les uns sont en filons, les autres en amas couchés. Ils paraissent s'étendre indistinctement dans chacune des roches que nous avons citées; l'on serait cependant tenté de les considérer comme plus communs dans les micaschistes et dans les gneiss : tel est le cas des mines d'argent, d'étain, de cobalt, etc., qui se trouvent en Suède et en Allemagne, et aussi de quelques mines de plomb, de cuivre, de fer, etc.; c'est encore dans ce terrain qu'existent les gisements les plus riches d'or et d'argent du nouveau continent. Le granit, qui forme la base des roches que nous venons de parcourir, renferme beaucoup moins de minéraux soit disséminés dans la masse, soit en veines. Les métaux surtout y sont plus rares et s'y présentent en veines ou en petits filons, souvent intimement liés avec la roche elle-même, quelquefois très-bien réglés, mais ordinairement peu puissants. Les minéraux les plus communs dans le granit sont le *titane rutile*, l'*étain oxydé*, l'*urane*, le *fer arsenical*, le *molybdène sulfuré*, le *wolfram*, etc., tandis que l'or natif, le cuivre pyriteux et les pyrites y sont très-rares.

Comme matériaux de construction, les granits à gros grain sont ordinairement peu solides. Il n'en est pas de même des granits à petit grain qui, au contraire, sont durs, tenaces et très-propres aux applications monumentales qu'on en fait lorsqu'on veut assurer la perpétuité d'un édifice. Ce granit, quoique fort beau, ne présente ordinairement que des teintes assez som-

bres; mais quelques variétés, telles que les *syénites*, beaucoup plus riches en couleurs, ont été fréquemment employées surtout par les Égyptiens pour leurs sphinx, leurs tombeaux, leurs obélisques. etc. Ces variétés de granits se rapprochent beaucoup du porphyre : aussi sont-elles désignées sous le nom de *porphyre syénitique*. Une autre variété, la *pegmatite graphique*, quoique peu résistante, est employée dans les arts par suite de la disposition particulière de ses cristaux de quartz qui forment des lignes brisées ayant quelque analogie avec les caractères hébraïques.

Les gneiss, les micaschistes offrent peu de ressources sous ce point de vue; mais nous avons vu qu'en compensation ils renferment une grande quantité de métaux précieux.

TERRAINS INTERMÉDIAIRES OU DE TRANSITION.

On appelle terrains intermédiaires ou de transition les terrains qui se formèrent évidemment au sein des eaux, lorsque la température du globe fut suffisamment abaissée pour leur permettre un séjour permanent sur certains points de sa surface. Les roches qui forment la base de ces terrains participent abondamment aux caractères métamorphiques des roches qui constituent la division supérieure des terrains précédents, de manière qu'il est souvent difficile d'établir entre eux une ligne de démarcation précise. Ici commence donc la série des terrains qui se sont formés en partie par voie mécanique ou de transport dans un liquide analogue à nos mers actuelles. Les eaux, chargées probablement d'une grande quantité de l'acide carbonique contenu dans l'atmosphère, s'écoulaient sur les terrains préexistants où elles s'infiltraient quelquefois plus ou moins profondément, et

formaient des eaux minérales qui apportaient au sol des éléments siliceux ou calcaires.

On reconnaît à la structure tantôt fine et argileuse, tantôt arénacée des roches, que des périodes successives de calme et d'agitation ont présidé à leur formation. En effet, à cette époque, des épanchements de terrains ignés ont, sur certains points, apporté des désordres notables dont le résultat a été le transport par les eaux des parties des roches préexistantes soulevées et désagrégées, déposées ensuite dans les mers les plus voisines en y formant des roches désignées sous le nom de *grauwackes*.

Cette dénomination de terrain de transition, tout en rappelant que, vers leur base, une structure cristalline semble les rapprocher intimement des terrains primitifs, indique aussi qu'ils ne conservent qu'à ce moment ces caractères, pour se rapprocher insensiblement et de plus en plus des terrains d'origine plus récente. Dans les terrains de transition apparaissent pour la première fois des débris de corps organisés fossiles, et la présence de ces corps disséminés, au moins de loin en loin et d'une manière irrégulière, aussi bien que la forme arénacée qu'affectent souvent les terrains de transition, suffit encore pour les distinguer des terrains primitifs. Ces débris fossiles, les premiers dans l'échelle géognostique, sont des témoins irrécusables d'une manifestation vitale à la surface du globe.

Ces terrains se subdivisent en trois groupes qui sont en allant de bas en haut : 1° les terrains cumbrien, silurien et ardoisier; 2° le terrain du vieux grès rouge ou terrain dévonien; 3° le terrain houiller. On verra, par la composition des roches de ces trois groupes, combien étaient variables la nature des éléments fournis par les anciennes roches et leur modification par les agents nouveaux de production répandus dans l'atmosphère,

auxquels le refroidissement permettait de se fixer sur le sol ou de se dissoudre dans les eaux. L'ensemble de cette formation peut, suivant M. Cordier, atteindre souvent 2 à 3,000 mètres et aller quelquefois jusqu'à 5,000.

TERRAIN CAMBRIEN OU CUMBRIEN [1].

SYN. : Terrain de transition inférieur; groupe fossilifère inférieur; terrain talqueux; étage phylladique de M. Cordier; système cumbrien de M. Sedgwick; schistes cumbriens de M. Élie de Beaumont; système cumbrien de M. Murchison; formation snowdonienne de M. Huot; partie inférieure de la période paléozoïque, etc.

Le terrain cumbrien, beaucoup plus développé en Angleterre qu'en France, semble former la base de la grande série silurienne. De grandes discussions géologiques ont eu et ont encore lieu entre les savants sur l'étude de ces premières couches fossilifères. Elles sont formées, en grande partie, de roches schisteuses de différentes nuances plus ou moins fissiles, quelquefois accompagnées de quartz, ce qui forme de véritables quartzites, et d'un calcaire compacte et esquilleux. Ces premiers dépôts montrent des débris assez rares de plantes, de zoophytes, de crustacés, de mollusques, premiers vestiges de l'organisation à la surface du globe, mais de l'organisation la moins parfaite, l'atmosphère étant encore peu propre à la respiration par suite de l'énorme quantité d'acide carbonique qu'elle contenait et qui ne pouvait être absorbée par la végétation naissante, dont nous retrouvons seulement quelques traces confuses en quelques petits amas anthraciteux.

[1] Cette dernière dénomination est plus juste, dérivant du *Cumberland*, où ce terrain est à découvert sur une grande étendue.

La plus grande puissance de ce terrain est de 3,000 mètres, mais ordinairement elle ne dépasse pas 5 à 600 mètres.

Bien que les fossiles soient rares, nous donnons ci-dessous les plus remarquables (*fig*. 3, 4 et 5).



Fig. 3. — *Oldhamia antiqua.*

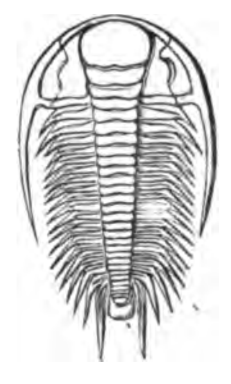


Fig. 4. — *Paradoxydes Bohemicus.*

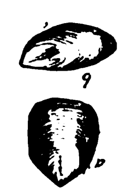


Fig. 5. — *Lingula Davisii.*

Le marbre de Campan dans les Pyrénées appartient à cette formation.

Le sol formé par ces terrains est généralement mauvais, lorsque la roche est schisteuse ; l'eau s'infiltre facilement entre ses feuillets, surtout lorsque, par suite de bouleversement, elle est fortement redressée, ce qui arrive souvent. Lorsqu'au contraire ce sont des calcaires, leur nature cristalline est encore une cause d'infertilité. Le sol formé difficilement est naturellement peu épais et facile à entraîner par les eaux. Il résulte de ce fait une végétation assez belle dans les vallées qui coupent des montagnes formées de roches de cette nature. Ces terrains, peu répandus, se montrent au jour entre le plateau central et les Alpes, dans quelques parties des Pyrénées et de la Bretagne.

TERRAIN SILURIEN ET ARDOISIER.

Syn. : Terrain ardoisier; formation caradocienne de M. Huot; groupe de la Grauwacke de M. de la Bèche ; terrain de transition moyen; système silurien de M. Murchison, comprenant le caradoc sandstone des Anglais; étage ampélitique de M. Cordier; partie de la période paléozoïque.

Presque semblable au terrain cumbrien dans sa partie inférieure, le terrain désigné sous le nom de silurien (du nom d'une ancienne peuplade celtique du pays de Galles), s'en sépare rigoureusement par une différence de stratification, parfaitement visible dans les départements de l'Orne et du Calvados. Il est occupé généralement à la base par des quartzites ou grès lustrés cristallins désignés sous le nom de *grauwackes*. Viennent ensuite des calcaires tantôt noirs, gris ou bleuâtres à structure compacte, quelquefois en plaquettes susceptibles de se diviser facilement, et enfin des schistes durs plus ou moins fissiles, principalement de la variété que l'on connaît sous le nom d'*ardoise;* telles sont les ardoises d'Angers et de Fumay dans les Ardennes. C'est dans ce terrain que se trouvent les riches gisements de plomb d'Huelgoat et de Poullaouen.





Fig. 6. — *Asaphus tyrannus.*



Fig. 6 *bis.* — *Ogygia Buchii.*

Dans ce groupe apparaissent en grand nombre les trilobites,

sorte de crustacés remarquables par leur organisation, leur forme et leur abondance, surtout les genres Asaphus et Ogygia (*fig.* 6 et 6 *bis*).

On y observe aussi plusieurs autres fossiles non moins caractéristiques, tels que des lituites (*fig.* 7), des orthocères (*fig.* 8), des bellérophons, des orthis (*fig.* 9), des térébratules (*fig.* 10), des productus, des spiriferes.



Fig. 7. — *Lituites giganteus.*



Fig. 8. — Fragment d'*Orthoceras Ludensis.*

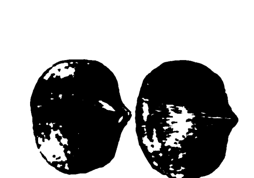


Fig. 9. — *Orthis elegantula.*

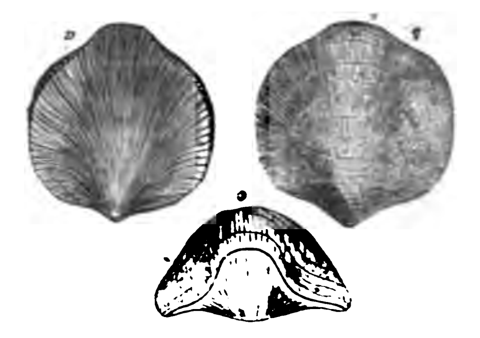


Fig. 10. — *Terebratula affinis.*

On y trouve encore assez fréquemment une sorte de corail, en forme de chaîne, que l'on nomme *Catenipora escharoïdes* ou corail chaîne (*fig.* 11), et un autre corps non moins singulier,

dont les bords sont taillés en dents de scie, connu sous le nom de *graptolite* (*fig.* 12).



Fig. 11. — *Catenipora escharoides.*



Fig. 12. — *Graptolites ludensis.*

Le terrain silurien et ardoisier, d'abord reconnu et étudié en Angleterre, a été ensuite retrouvé en différents points du globe, notamment en Russie, en Suède, en Norvége, dans l'Amérique septentrionale; nous avons vu que la Bretagne en possédait des types importants; mais c'est peut-être en Bohême, grâce aux savantes recherches de M. Barrande, que sa faune sera le mieux étudiée. On connaît des dépôts siluriens et ardoisiers qui ont jusqu'à 2,000 mètres de puissance, mais le plus ordinairement elle ne dépasse guère 500.

Lorsque ce sont les calcaires qui affleurent au sol, la terre arable qui en résulte est assez fertile, à moins qu'ils ne forment des montagnes; alors les parties escarpées sont stériles. Lorsque ce sont les schistes, on retrouve les mêmes défauts que pour le terrain cumbrien; mais sur les grès ou grauwakes qui se décomposent facilement, on a des terres assez fertiles et d'ailleurs propres à être amendées par l'argile ou le calcaire.

TERRAIN DÉVONIEN.

SYN. : Terrain de transition supérieur; vieux grès rouge (*old red sandstone* des Anglais); formation paléo-psammerythrique de M. Huot; étage des grès pourprés de M. Cordier; partie de la période paléozoïque.

Le terrain dévonien occupe la partie supérieure des terrains de transition proprement dits pour beaucoup de géologues; nous avons réuni à cette grande division le terrain houiller, qui semble produit par la continuation des mêmes phénomènes qui ont donné lieu à cette formation.

Ce nom de dévonien, donné par M. Murchison, vient du Devonshire, où ce géologue l'a particulièrement étudié. Il se compose, le plus généralement, de grès fortement colorés en rouge par l'oxyde de fer, de schistes et de calcaires.

Nous avons déjà vu qu'il existe toujours, ou presque toujours, une certaine difficulté à bien déterminer le point de séparation de certains terrains à leur limite, à moins que, par une stratification discordante, ils ne présentent des caractères bien tranchés; mais le plus souvent il y a en quelque sorte liaison entre les couches supérieures d'une formation et les couches inférieures de celle qui lui succède immédiatement, et ce fait se présente ici où les grès à gros fragments, désignés sous le nom de *poudingues*, se confondent aisément avec ceux de la partie supérieure des terrains siluriens.

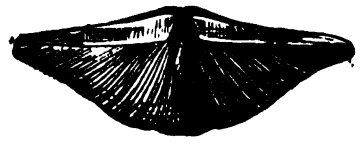


Fig. 13. — Spirifer Verneuilii.

On rencontre encore dans le terrain dévonien des bellérophons, des orthocères, des spiriferes (*fig.* 13), des clymenia (*fig.* 14), etc., des débris de plantes assez abondants pour avoir donné lieu

à des couches d'anthracites, premiers dépôts importants de combustibles, qui font présager déjà les accumulations de houille que nous trouverons dans les couches qui recouvrent ce terrain (*fig.* 15 et 16).

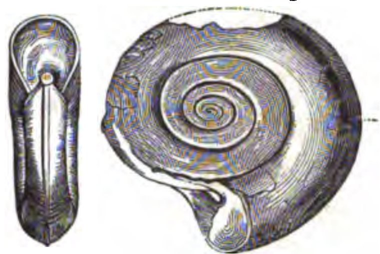


Fig. 14. — *Clymenia linearis.*



Fig. 15. — Tige de *Lepidodendron.*



Fig. 16. — *Cyclopteris Hibernica.*

On y trouve aussi des reptiles, des poissons dont l'un d'eux



Fig. 17. — *Cephalaspis Lyellii.*

a. Écailles particulières dont la tête était recouverte, à l'état de complète conservation. — *b. c.* Écailles de différentes places du corps et de la queue.

assez remarquable, le cephalaspis, avait la tête recouverte d'une espèce de bouclier (*fig.* 17).

Ce poisson étudié par M. Agassis avait $0^m,16$ de longueur et avait souvent été confondu avec un trilobite.

La puissance de ce terrain en certains endroits est estimée à 3,000 mètres, mais cependant quelquefois elle ne dépasse pas 200 mètres. Il est développé en Angleterre, en Belgique, sur les bords du Rhin; en France, dans la Bretagne, l'Anjou, les Vosges.

Ce groupe et celui qui le précède sont séparés du terrain houiller par le système des ballons (Vosges) et des collines du Bocage, de la Normandie; la direction de leurs couches est E. 15° S. à O. 15° N.

Les grès qui caractérisent le terrain dévonien sont souvent argileux, et le sol qui en résulte permet une culture assez variée, surtout sur les points où l'exploitation des couches combustibles amène un surcroît de population industrielle, et la facilité de transformer les calcaires en chaux pour amendement. Ce fait se manifeste dans le département de la Haute-Saône, à Ronchamps, et dans les départements de la Sarthe et de Maine-et-Loire.

TERRAIN HOUILLER ET CARBONIFÈRE.

SYN. : Terrain anthraxifère, terrain houiller; groupe carbonifère, partie de la période anthraxyfère de M. Cordier; partie moyenne de la formation ou période paléozoïque.

Nous avons divisé ce terrain d'une grande importance industrielle en trois étages qui, par ordre chronologique, sont : 1° des roches calcaires, dites calcaire de montagne, calcaire carbonifère, calcaire métallifère; 2° des grès quartzeux, espèce de liaison, de trait d'union entre les calcaires inférieurs et les

grès et schistes houillers; 3° les grès, schistes et argiles avec couches de houille.

Le calcaire carbonifère, ou calcaire de montagne, occupe la

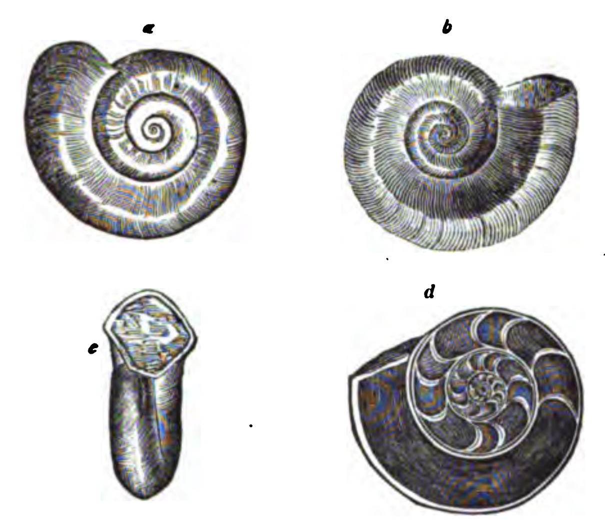


Fig. 18. — *Evomphalus pentagulatus.*

a. Face supérieure. — *b.* Face inférieure ou ombilicale. — *c.* Bouche moins pentagonale chez les individus plus âgés. — *d.* Section polie montrant les chambres intérieures.

base du terrain houiller; il est généralement noirâtre, très-compacte, recevant très-bien le poli; il est employé comme



Fig. 19. — *Spirifer trigonalis.*

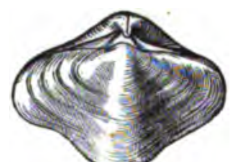


Fig. 20. — *Spirifer glaber.*

marbre commun. Il renferme une grande quantité de débris végétaux et animaux parmi lesquels on distingue les évom-

phales, les spirifères, les goniatites (*fig.* 18, 19, 20, 21, 22), les orthocères.

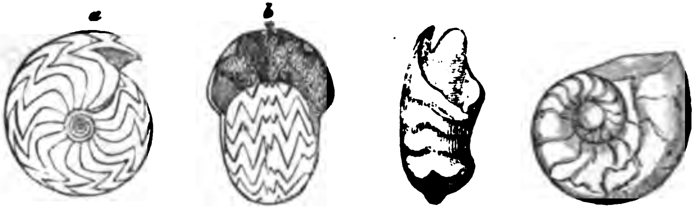


Fig. 21. — *Goniatites crenistria.* Fig. 22. — *Goniatites evolutus.*

Tous ces débris animaux, de même qu'une grande quantité de polypiers essentiellement caractéristiques de ce terrain, sont transformés en carbonate de chaux d'une assez belle teinte blanche, se détachant sur la masse calcaire colorée en noir. Parmi les polypiers les plus remarquables sont les suivants. *Fig.* 23 et 24.)



Fig. 23. — *Cyathocrinites planus;* le corps et les bras.

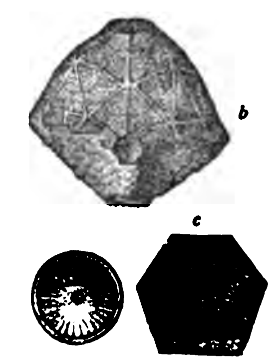


Fig. 24. — *Cyathocrinus caryocrinoides.* *a.* Face d'une articulation. — *b.* Bassin du corps appelé calice ou coupe. — *c.* Une plaque du bassin.

Les marbres désignés sous le nom de Sainte-Anne, de petits granites, des écaussines de Namur et de Dinant appartiennent à ce terrain.

Le calcaire carbonifère contient rarement de vrais dépôts de

combustibles ; il est toutefois imprégné de matières charbonneuses, et, dans quelques cas, il alterne avec des couches ou amas de houille.

Les nombreux sondages, pour recherches de houille, que nous avons exécutés dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais, nous font un devoir d'engager les explorateurs à abandonner leurs recherches lorsqu'ils ont atteint cette formation, attendu que, même dans le cas très-rare de rencontre de charbon, les bénéfices d'exploitation couvrent souvent difficilement les dépenses occasionnées par l'avaleresse ou puits d'extraction. La présence du charbon dans cette roche fait que souvent elle répand, par le choc ou le frottement, une odeur fétide due probablement à la substance bitumineuse.

La stratification de ce calcaire est nette et puissante, elle se développe sur une épaisseur de 4 à 500 mètres. On y rencontre quelques roches subordonnées, telles que des lits de silex noirâtres, du peroxyde de fer globulaire, de l'anthracite, du bitume, de la fluorine, de la barytine et enfin du calcaire magnésien ; c'est aussi le gîte le plus ordinaire de la galène et de la blende, ce qui lui a fait donner par quelques géologues le nom de calcaire métallifère. Le nom de calcaire de montagne (mountain limestone) lui a été donné par les Anglais parce qu'il constitue, dans certaines localités, des montagnes élevées.

Avec le calcaire carbonifère, et avant d'arriver au terrain houiller proprement dit, on trouve dans les Ardennes et en Angleterre des alternances de schistes, de calcaires bitumineux, et de grès quartzeux à gros grain très-développé, surtout dans cette dernière localité, où on lui donne le nom de mill-stone-grit ou pierre à meule, à cause de l'usage fréquent qu'on en fait sous cette forme.

M. Élie de Beaumont place son système de montagne du Forez entre le mill-stone-grit et l'étage houiller.

Ce terrain, intercalé entre le calcaire carbonifère et le véritable terrain houiller, offre tant d'analogie avec ce dernier, que le géologue est souvent très-embarrassé sur la séparation des couches qui appartiennent à l'une ou à l'autre de ces divisions.

Au grès quartzeux dit mill-stone-grit succèdent des alternances de grès, de schistes, d'argiles, avec véritables couches de houille proprement dite. Ces dépôts, quoique faisant bien partie de la même période géologique, s'en distinguent par la richesse exceptionnelle du combustible qu'ils renferment, et qui est bien supérieur en quantité et en qualité à tout ce que nous avons vu jusqu'à présent, et à tout ce que nous verrons en nous élevant dans les terrains supérieurs.

L'ensemble de ces dépôts présente quelquefois une très-grande puissance. En Angleterre les dépôts houillers du Nord ont offert jusqu'à 915 mètres d'épaisseur. Leur développement en étendue n'est pas proportionnellement aussi considérable; cette circonstance concorde bien avec les théories admises pour expliquer l'origine et la formation des dépôts charbonneux. Les roches de la série houillère ont entre elles une ressemblance remarquable par sa constance. Les grès y sont tantôt feldspathiques (*arkoses*), tantôt purs, tantôt plus ou moins argileux et micacés (*psammites*). Les argiles y sont à l'état terreux ou schistoïde, ou à l'état de phyllades, souvent propres à la fabrication des briques réfractaires. Le nombre des lits de houille dans un même lieu est quelquefois considérable et va au delà de quarante. Un des traits caractéristiques de cette formation est la présence du fer carbonaté lithoïde que

l'on y rencontre souvent en très-grande abondance, en petits lits interrompus, ou plutôt en nodules ellipsoïdes, aplatis, disséminés de préférence dans les phyllades et les argiles schisteuses; ces nodules sont accompagnés de débris abondants de végétaux et renferment souvent eux-même des corps organisés qui occupent leur centre; ils sont de formation contemporaine et plus abondants dans la partie supérieure du terrain houiller que dans la partie inférieure. Cette association fréquente avec la houille a puissamment contribué à la richesse industrielle de l'Angleterre et lui donne encore à présent des avantages immenses pour la fabrication du fer; on y trouve sur place et réunis dans les grandes exploitations, l'argile propre à la construction des hauts fourneaux, le minerai, son fondant calcaire et le combustible.

Les corps organisés fossiles du groupe houiller sont nombreux et caractéristiques, ce sont en grande partie des débris de végétaux entiers des familles des équisetacées, des fougères, des marsiléacées, des lycopodiacées formant à elles seules





Fig. 25. — *Calamites Suckovii.*



Fig. 26. — *a. Sphenopteris crenata.*
b. Portion du même, grossie.

les quatre cinquièmes des végétaux de cette époque au nombre

de 5: à 600 espèces déterminées par M. Brongniart, telles que *calamites, sphenopteris, pecopteris, lepidodendron*, etc..... (*fig.* 25, 26, 27, 28, 29 et 30.)

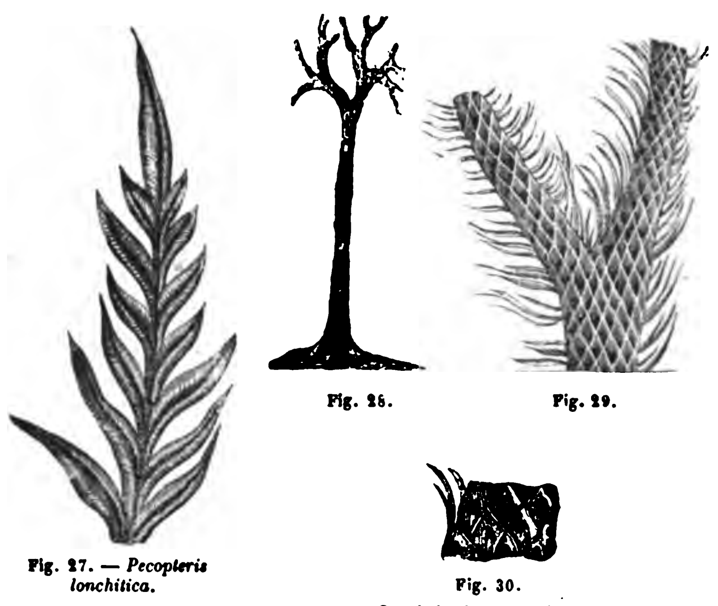


Fig. 26. Fig. 29.

Fig. 27. — *Pecopteris lonchitica.*

Fig. 30.

Lepidodendron Sternbergii.

Fig. 28. — Tronc ramifié de 15 mètres de long.
Fig. 29. — Tige ramifiée avec écorce et feuilles.
Fig. 30. — Portion du même, plus près de la racine; grandeur naturelle.

La flore des terrains houillers, surtout en ce qui concerne les espèces ci-dessus, présente ce caractère remarquable, que les végétaux qui la composent et qui avaient des dimensions gigantesques, ont aujourd'hui leurs analogues sous la zone tropicale seulement (*fig.* 31, 32 et 33), tandis qu'ils sont réduits dans les zones tempérées à l'état de plantes herbacées et rampantes.

La comparaison des différents bassins connus jusqu'à ce jour



Fig. 31. Fig. 32. Fig. 33.
Fig. 31. — Fougère arborescente de l'île Bourbon.
Fig. 32. — *Cyathea glauca*, Maurice.
Fig. 33. — Fougère arborescente du Brésil.

sur plusieurs points du globe porte à conclure que la flore houillère a été la même à cette époque dans les pays compris sous la zone torride que dans nos contrées de la zone boréale.

Les végétaux qui forment la cinquième partie de la flore houillère appartiennent aux familles des sigillariées, des conifères, et des cycadées, telles que *sigillaria* (*fig.* 34), *dadoxylon* (*fig.* 35), etc., et enfin à des familles tout à fait dis-



Fig. 34. — *Sigillaria lævigata.*

tinctes, les *noggerathia* parmi lesquelles les *asterophillites*. (*Fig*. 36.)

Les débris fossiles d'animaux, quoique très-rares dans le



Fig. 35. — Fragment de bois conifère, *Dadoxylon*, cassé longitudinalement.
a. Ecorce. — *b*. Zone ligneuse. — *c*. Moelle. — *d*. Moule du canal médullaire.



Fig. 36. — *Asterophillite*.

terrain houiller, s'y montrent cependant de plus en plus fréquemment à mesure que l'étude de ce groupe devient plus complète. Des recherches nouvelles prouvent qu'en dehors des coquilles d'eau douce et marine, telles que cypris ou cytheræ,

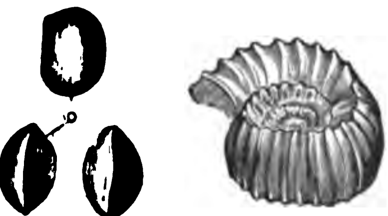


Fig. 37.
Cypris inflata (ou *Cytheræ*)?



Fig. 38.
Goniatites Listeri.



Fig. 39.
Avicula papyracea.

goniatites (*fig*. 37, 38), orthocéres et avicules (*fig*. 39), quelques poissons, crustacés et insectes ont laissé de nombreuses traces de leur existence.

Jusqu'en 1844 aucun animal vertébré à respiration aérienne

n'avait encore été découvert; à cette époque, un reptile, présentant beaucoup d'analogie avec les salamandres, fut trouvé par M. Herman de Meyer dans la houille de Munster-Appel (Bavière rhénane). Cette découverte fut suivie d'autres, dans le bassin de Saarbruck, par M. Von Dechen. Presque en même temps, le docteur américain King publiait de nombreux vestiges laissés à la surface ondulée de grès en dalles, reposant sur des argiles au sein de certaines houillères de l'Amérique du Nord, et appartenant à d'énormes reptiles.

En 1852, MM. Lyell et Dawson découvrirent les premiers débris osseux des reptiles d'Amérique. Enfin, dans le supplément de son excellent manuel géologique, M. Lyell rapporte que le docteur Emmons a découvert, en 1856, trois mâchoires inférieures d'un petit mammifère insectivore, au sein des bassins houillers de Chatam (*Caroline du Nord*); mais il se pourrait que ces dépôts combustibles fussent de l'époque de la partie inférieure des terrains secondaires.

Disons un mot de l'origine présumée de la houille, et des deux théories un peu différentes au moyen desquelles on a cherché à expliquer son mode de formation. On regarde généralement ce combustible comme provenant du dépôt de substances végétales ayant subi une altération particulière. On est naturellement conduit à cette conjecture en considérant la grande quantité de carbone contenue dans les végétaux, et en se rappelant que les schistes qui accompagnent la houille portent de fréquentes empreintes de feuilles et de branches, et que, dans les grès, des troncs d'arbres volumineux subsistent debout ou couchés. Les géologues ne conservent plus de doutes à ce sujet; mais ils diffèrent d'opinion lorsqu'il s'agit d'expliquer l'origine des végétaux qui ont donné naissance à des

dépôts si considérables de combustible. D'après les uns, ces végétaux auraient été amenés de loin par les eaux courantes et accumulés dans des espaces circonscrits, où ils auraient été recouverts par les sédiments alternant en grand nombre avec les couches de houille, charriés par les mêmes eaux, et dont l'abondance relative ou l'absence complète variait suivant la crue de ces eaux, la rapidité du courant, ou d'autres circonstances. Cette théorie nous semble expliquer d'une manière plus satisfaisante que la suivante les alternances quelquefois si nombreuses de houille, de grès, d'argile, etc., que présentent certains bassins. Suivant d'autres géologues, la transformation des végétaux aurait eu lieu sur la place où ils auraient vécu. De vastes forêts d'une densité impénétrable, et déployant tout le luxe de végétation qui paraît avoir caractérisé cette époque, couvraient les sols bas et les rivages immédiats des océans. Des causes quelconques, ayant submergé ces forêts et les ayant recouvertes par des sédiments, les ont placées dans des conditions favorables à la transformation houillère; des émersions consécutives de ces dépôts auront apporté au jour un sol nouveau, que n'a pas tardé à recouvrir une végétation abondante.

On peut ainsi, par des submersions et des atterrissements successifs sur un même lieu, expliquer les alternances nombreuses dont il a été question ci-dessus. Mais il est reconnu aujourd'hui qu'une futaie de vingt-cinq ans ne produirait sur la superficie du sol qu'une couche de houille de deux millimètres d'épaisseur; comment admettre dès lors une végétation sur place assez considérable pour donner lieu à des dépôts combustibles de plusieurs mètres de puissance? L'examen du bassin houiller de Mons et d'Anzin prouve, d'ailleurs, que

cette théorie pèche par la base, et confirme pleinement celle du charriage.

La carbonisation a eu lieu par suite d'actions plutoniques d'une part, et de l'autre par la pression considérable des dépôts qui ont recouvert ces végétaux.

Bien que les Romains aient connu la houille, il est douteux qu'ils s'en soient jamais beaucoup servis, quoique Théophraste, qui vivait 322 ans avant Jésus-Christ, dise que les Grecs en faisaient une grande consommation pour la forge et la fonderie. Il paraîtrait que c'est en Belgique, vers le douzième siècle, que la houille a commencé à être exploitée d'une manière un peu sérieuse. L'Angleterre n'a exploité ses charbons de New-Castle que vers le treizième siècle. A Paris, en 1770, des bateaux de houille venus de Belgique furent obligés de s'en retourner avec leur chargement; pendant l'hiver rigoureux de 1774, on eut recours à ce combustible, mais il fut abandonné bientôt après; ce n'est que depuis peu d'années qu'on l'accepte dans les usages domestiques. Saint-Étienne n'était qu'un village à la fin du siècle dernier; Rive-de-Gier, Saint-Chamond n'existaient pas.

Si le développement de cette richesse minérale a été lent au commencement de ce siècle, les progrès de l'industrie, la création des chemins de fer, n'ont pas tardé à donner une importance très-grande aux gisements connus, qui devinrent bientôt insuffisants.

La France, quoique actuellement moins favorisée que la Belgique et l'Angleterre, ne tardera pas à rivaliser avantageusement avec ce pays, car chaque année apporte avec elle la découverte de nouveaux gisements.

Depuis sept ou huit ans seulement, le riche bassin houiller

belge de Mons et de Charleroi, qui entre en France par le département du Nord, où il est exploité à Anzin, à Aniche, à Vicoigne, etc., et qui s'arrêtait aux environs nord d'Arras, est prolongé jusqu'au delà de Lillers, à Auchy-au-Bois, en passant par Lens et Béthune. Plus de dix nouvelles concessions ont été accordées; elles ont ouvert de nouvelles fosses qui, tout en extrayant chacune 1800 à 2000 hectolitres par jour, suffisent à peine au développement de la consommation.

Le bassin de Saarbruck se prolonge aujourd'hui dans le département de la Moselle, et a donné également lieu à la création en France de nouvelles exploitations, qui rivaliseront bientôt avec les établissements prussiens.

Par les départements du Nord et du Pas-de-Calais, on voit évidemment quelles sources de prospérité amènent de semblables découvertes. En effet, ces deux départements sont classés parmi les quatre ou cinq plus riches de France : ils renferment, par suite de la houille, les plus grands éléments de prospérité; car non-seulement ils ont la richesse houillère, mais, par ce seul fait, une population plus grande s'y adonne à des industries diverses, et notamment à la fabrication du sucre de betterave qui, elle-même, exige le puissant concours de l'agriculteur. Ce dernier trouve de son côté un agent actif dans le combustible, pour transformer le calcaire crayeux de ces départements en chaux, dont le mélange aux engrais lui permet de donner au sol qu'il cultive l'activité nécessaire pour le faire produire sans relâche. Aussi est-ce dans ces contrées que l'on voit le moins de terres incultes; les jachères y sont presque inconnues.

Ainsi, la présence du charbon de terre dans ce pays y laisse le numéraire qui se porterait à l'étranger, pour son acquisition

par l'industrie sucrière, et par celle-ci affranchit la France de la nécessité impérieuse des colonies. Peut-être pourrait-on, sans trop présumer, espérer que bientôt, grâce aux progrès de la chimie, ces contrées produiront des vins par fabrication; puisque déjà, en raison de circonstances récentes, bon nombre de raffineries se sont transformées en distilleries qui fournissent des alcools bien difficiles à distinguer des produits vinicoles.

Après ce qui précède, il est superflu de s'étendre davantage sur les richesses que présentent à l'industrie les terrains intermédiaires ou de transition; la houille et le fer suffiraient et au delà pour les classer en tête des plus utiles; aussi voit-on toutes les industries importantes venir se fixer à proximité des houillères, sources de chaleur et de mouvement. Les schistes bitumineux des terrains houillers produisent quelquefois par distillation de 2 à 10 p. °/₀ d'huile volatile, que l'on emploie avec succès pour l'éclairage, et donnent lieu à une industrie qui tend à prendre de grands développements à Autun, dans les environs de Commentry et à Mouthiers près Besançon.

Le sol formé par le terrain houiller est assez favorable à la culture; il conserve bien l'humidité. Malheureusement, il est très-peu important comme étendue, et ne forme que des îlots assez rares à la surface des terrains de transition autour du plateau central, dans la Bretagne, les Vosges et la partie sud de la Provence. Toute la région houillère belge qui s'étend en France est recouverte par la craie et présente fort peu d'affleurements au sol.

TERRAIN SECONDAIRE.

Après les dépôts successifs des terrains qui précèdent, de grands bouleversements vinrent changer le relief du globe; de

nombreux soulèvements opérèrent des fractures dans diverses localités, plissèrent les couches qui avaient conservé un certain état de mollesse, déplacèrent les eaux, détruisirent presque toute la série animale et donnèrent lieu à un nouvel ordre de choses.

L'atmosphère, purifiée dans la période précédente par suite de l'absorption de l'acide carbonique par la végétation luxuriante des terrains houillers, fut désormais plus propre à la respiration d'animaux d'un ordre plus élevé ; la température se modifia en raison de l'épaississement des roches primitives, qui devinrent, avec les terrains de transition, un énorme écran s'opposant aux effets de la chaleur centrale : aussi voit-on apparaître des reptiles d'énormes dimensions, qui diffèrent beaucoup de ceux qui vivent actuellement, des animaux à sang chaud, tels que les oiseaux de l'ordre des échassiers ; les mollusques acquièrent des tailles gigantesques et se multiplient.

La végétation elle-même se modifie ; elle était représentée dans les terrains précédents par un nombre d'espèces relativement assez restreint, tandis que dans les terrains secondaires le nombre augmente en espèces, tout en diminuant comme masse ; aussi retrouve-t-on très-peu de débris de végétaux dans les couches formées pendant cette période ; ces débris indiquent un grand nombre de conifères et de cicadées qui n'existent plus que dans les pays chauds.

Pendant que ces terrains se déposaient, les phénomènes volcaniques continuaient à agir. L'enveloppe terrestre, devenant de plus en plus solide, ne se brisait que sous des efforts plus violents et donnait lieu à des changements plus prononcés de la surface. Les eaux déplacées se concentraient dans des mers plus vastes et plus profondes, tandis que les îles se réunis-

saient et formaient des continents. Tous ces bouleversements amenaient des érosions violentes par suite du mouvement brusque des eaux qui, déplacées, couraient suivant les aspérités du terrain, cherchant les points les plus bas pour y prendre leur équilibre, et cela en détruisant en partie les roches friables dans lesquelles elles se creusaient un lit, modifiant aussi le relief du sol par le creusement des vallées et les dépôts de tous les détritus arrachés aux roches encaissantes. Les sources thermales qui surgirent amenèrent également une série de dépôts, et souvent modifièrent par des actions chimiques les roches qui les avoisinaient. Au reste nous verrons, en suivant par ordre successif la série des couches que renferment ces terrains, ce que toutes ces causes ont produit.

Cette grande formation, ainsi que l'indique le tablean chronologique, se subdivise en allant de bas en haut : 1° en terrain pénéen ; 2° en terrain triasique ; 3° en terrains jurassiques et oolithiques ; et 4° en terrains crétacés.

TERRAIN PÉNÉEN OU PERMIEN.

SYN. : Terrain permien (de Perm en Russie); formation psammérythrique; partie de la période paléozoïque; partie de la période salino-magnésienne de M. Cordier.

Ce terrain se compose à sa base : de *grès rouge*, que l'on nomme *nouveau* pour le distinguer de celui que nous avons déjà décrit sous le nom de *vieux grès rouge* (c'est le *Rothe todte liegende* des Allemands), de calcaire nommé *zechstein*, et, à sa partie supérieure, de *grès vosgien*.

Nouveau grès rouge.

Syn. : Grès rouge de divers géologues ; *todte liegende* des Allemands ; nouveau grès rouge inférieur de M. Murchison ; formation psammérythrique de M. Huot ; grès rouge moyen.

Cette formation du grès rouge, qui recouvre immédiatement le terrain carbonifère, peut être considérée comme une seule assise, d'une épaisseur moyenne de 150 à 200 mètres, composée de conglomérats, de brèches, de poudingues et de grès, ordinairement rougeâtres, qui alternent entre eux. Les lignes de stratification, qui divisent cette puissante assise en un grand nombre de couches, sont déterminées, soit par la grosseur des fragments agrégés, soit par leur nature minéralogique. Ces fragments anguleux, simplement arrondis, ou tout à fait roulés, varient en grosseur, depuis plusieurs mètres cubes jusqu'à celle de grains tenus, qui forment les grès les plus fins. Il est à remarquer que les conglomérats les plus puissants forment toujours les parties inférieures. Du reste la nature de ces blocs est en général facile à reconnaître, et l'on peut même déterminer souvent les localités d'où ils proviennent; car ce ne sont pas seulement des roches très-dures comme les granits, les porphyres, le quartz ; on y trouve aussi des schistes de toute espèce, des calcaires carbonifères (environs de Bristol, Devonshire). Les blocs sont généralement arrondis, surtout les plus tendres ; mais on est surpris quelquefois du peu d'altération de leurs angles, et, dans ce cas, on reconnaît presque toujours qu'ils proviennent du terrain même sur lequel ils reposent, et que, par conséquent, ils n'ont pas été charriés pendant longtemps.

Le *grès rouge proprement dit* se compose de fragments an-

guleux ou arrondis de granit, porphyre, pétrosilex, quartz, de quelques millimètres et même de quelques centimètres, cimentés par une pâte rougeâtre argilo-ferrugineuse; ce grès grossier peut devenir très-fin et passer à l'*arkose* et au *psammite schistoïde*, tandis que des fragments plus gros, apparaissant dans un grès fin qui leur sert de pâte, le font passer au *conglomérat*. Ces roches, qui déterminent le caractère principal de toute la masse, alternent souvent avec des *brèches* ou des *poudingues* à petits fragments de schistes, empâtés dans un ciment argileux. Les fragments y sont ordinairement plus arrondis, plus roulés que ceux des roches dures, et lorsqu'ils atteignent leur maximum de ténuité, la roche devient schistoïde, prend une apparence homogène et passe même à l'argile schisteuse.

La stratification de cette formation est généralement obscure et massive, du moins tant que les couches de grès fin schistoïde et d'argile schisteuse ne viennent pas la rendre plus nette. On n'y a reconnu que peu d'indices de débris organiques; ce sont quelques végétaux brisés indéterminables, mais qui paraissent analogues à ceux du terrain houiller, tels que : des *troncs de palmier* passés à l'état de silice, des *fougères*, des *calamites*, et quelques *conifères*. On y rencontre encore, mais assez rarement, des traces de pas qui semblent appartenir à des tortues gigantesques et à des oiseaux. (*Fig.* 40.)

Fig. 40.—Empreintes de pas d'oiseau. Turner's Falls, vallée du Connecticut.

Ces empreintes semblent avoir été faites sur la roche encore molle, durcie ensuite avant le dépôt de

nouvelles couches qui s'y sont moulées, de telle sorte qu'on retrouve le relief accompagnant le creux. Cette disposition du sol à recevoir et à conserver des traces était telle, qu'on retrouve celles formées par les gouttes de pluie et les légères ondulations qui se produisent le long des rivages.

Comme présence des agents chimiques, on ne peut citer que certains agents calcaires qui apparaissent sous forme de ciments et de petits bancs accidentés : c'est une formation de débâcle des mieux caractérisées. Les caractères particuliers que présente cette formation dans les divers points de son développement concordent parfaitement avec ce mode d'origine, en même temps qu'ils donnent les détails les plus intéressants sur les phénomènes locaux qui ont pu les détermimer, et les *todte liegende* constituent par leur nature, de même que par leur stratification, souvent discordante, un horizon géognostique réel.

En Angleterre, le grès rouge forme une longue bande du nord-est au sud-ouest, et les faits généraux qui résultent de son examen établissent que les fragments sont d'autant plus anguleux et d'autant plus gros, que les points d'où ils proviennent sont plus rapprochés, et que plus ils sont fins et roulés, moins les terrains voisins présentent de traces de grandes perturbations qui puissent se rapporter à cette époque. De plus, si l'on considère l'ensemble général des masses, les parties les plus inférieures présentent des fragments plus volumineux que les parties supérieures. Ces faits particuliers consistent dans la dislocation des calcaires carbonifères, qui ont souvent fourni une grande partie des matériaux, et dans les différences multipliées et instantanées de la grosseur des fragments, qui rendent la stratification plus apparente et les couches plus nombreuses que d'ordinaire.... etc.

La formation du grès rouge observée en Allemagne retrace les mêmes faits généraux que celle de l'Angleterre. C'est tantôt un conglomérat à gros blocs, ou un grès plus ou moins fin; tantôt ce sont de petites couches terreuses qui passent à la marne ou à l'argile schisteuse. Les conglomérats sont composés des fragments de terrains voisins. Les brèches et les poudingues présentent moins de liaison avec le terrain environnant. L'on trouve les alternances de grès et de conglomérats; mais ce qu'on y apprécie mieux que partout ailleurs, c'est que plus le grain est fin, moins les fragments ont de rapport avec les roches voisines : de là il résulte le phénomène d'une liaison intime avec le terrain houiller lorsqu'il le recouvre.

En Thuringe, en Saxe, en Silésie, le grès est souvent lié, de même qu'en Angleterre (Sommersetshire, Shropshire), à des porphyres qui s'intercalent dans les couches, en donnant lieu à des alternances de roches ignées et sédimentaires.

En France, le grès rouge se montre autour du massif du terrain ancien qui forme la partie centrale et culminante des Vosges; il constitue généralement la partie inférieure des vallées, dont le couronnement est formé par le grès des Vosges (la formation intermédiaire du zechstein n'étant pas représentée); c'est un grès assez grossier, à texture un peu lâche, diversement coloré, surtout en rouge amarante, mais avec des parties jaunâtres ou d'un gris verdâtre, passant à une marne fissile et micacée, qui présente quelquefois des cristaux de feldspath en décomposition. Certaines couches, les plus inférieures, passent à un conglomérat grossier et peu cohérent, formé de fragments de porphyres et de roches anciennes. Cette formation est sujette à manquer, ou du moins à être considérablement réduite, et M. Élie de Beaumont, qui l'a décrite, signale

comme points principaux de son développement les environs de Ronchamps, Villé, Raon-l'Étape et Sarrebruck. A Raon-l'Étape, Villé, Sainte-Croix, elle se lie avec les porphyres rouges quartzifères et des porphyres amphiboliques, ce qui complète l'analogie avec les grès rouges de l'Angleterre et de la Thuringe.

Dans le nouveau continent, M. de Humboldt a reconnu la formation du grès rouge au nord et au sud de l'équateur, en six points différents : dans la nouvelle Espagne, dans les steppes de Vénézuela, dans la Nouvelle-Grenade, sur le plateau méridional de la province de Quito. Le nom de rothe liegende, qui a été donné à cette roche par les Allemands, indique pour eux un fonds stérile ou mur mort, parce qu'elle ne contient plus les minéraux, cuivre, plomb, argent, etc., qu'ils ont l'habitude d'exploiter dans les couches supérieures. Ce nom pourrait encore lui être appliqué sous le point de vue agricole, car les sources si rares de cet étage ne corrigent en rien l'aridité naturelle du sol, qui ne produit guère que quelques mauvais pâturages; les céréales y végètent.

C'est pendant la formation de ces dépôts de grès rouge que les Pays-Bas se soulevèrent en plissant les bassins houillers de la Belgique et de la Sarre.

Zechstein.

Syn. : Calcaire alpin (*alpen kalkstein* des Allemands); calcaire magnésien (*magnesian limestone* des Anglais); calcaire pénéen de M. Brongniart; formation magnésifère de M. Huot; schistes cuivreux.

La formation du zechstein manque souvent; ainsi lorsque l'on remonte la série des formations de Paris aux Vosges, l'on ne trouve aucune roche que l'on puisse y rapporter; il en est

de même dans le midi de la France, et ce n'est que dans la partie nord (Calvados), peut-être en Bourgogne (Autun) que l'on trouve des calcaires et des schistes qui reproduisent, et par leur position et par leur nature minéralogique, quelques-uns des caractères que présente cette formation dans la Thuringe, le Mandsfeld, une partie du Hartz, de la Hesse et de la Franconie, contrées classiques de son développement.

Dans ces contrées centrales de l'Allemagne, le grès houiller et le grès rouge sont recouverts par une série de couches calcaires et marneuses de couleurs foncées, dont l'épaisseur moyenne est d'environ 150 mètres. Elle peut être regardée comme la première formation du calcaire dans tout le pays au nord du Danube. M. Freiesleben, qui a décrit cette formation, la partage en deux étages. L'étage inférieur comprend des schistes marneux et compactes; l'étage supérieur, des calcaires poreux, cellulaires, et des calcaires fétides.

L'étage inférieur se subdivise lui-même en deux assises: la première est composée de trois variétés de schistes généralement superposés dans l'ordre suivant de bas en haut: le schiste sablonneux ; le schiste marneux bitumineux ; le schiste marneux pur. Ils sont recouverts par la deuxième assise composée d'un calcaire compacte, gris cendré ou noirâtre, dur et tenace; c'est le zechstein proprement dit.

Les schistes inférieurs sont des marnes schisteuses très-fissiles. Ces trois variétés se superposent généralement dans un ordre assez constant. La couche intermédiaire au schiste marneux bitumineux est la moins puissante, elle a en moyenne $0^{m},33$; mais elle est remarquable à la fois par sa composition et sa continuité, qui en fait le meilleur horizon géognostique de la contrée. On la retrouve en des points distants de 150 et

200 kilomètres et plus, et comme elle est généralement exploitée, elle a de tout temps attiré l'attention des géologues. C'est une marne imprégnée, en proportion variable, de bitume et de carbone qui peut, dit M. d'Aubuisson, constituer le dixième de la masse; elle contient en outre du sulfure de fer et des pyrites de cuivre argentifère exploités, qui leur ont fait donner le nom de kupfer-schiefer[1]. On y trouve aussi de la galène, de la blende, du cobalt arsenical et du bismuth. L'on y rencontre des végétaux, des empreintes de poisson, *palæothrissum* (*fig.* 41), en grande abondance, des restes de *monitors*, animaux

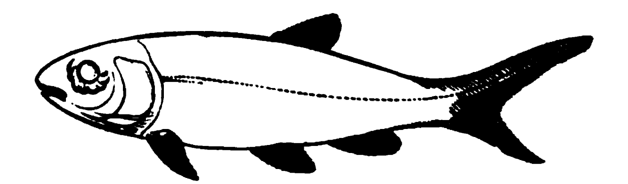


Fig. 41. — Empreinte restaurée d'un poisson du genre *Palæoniscus*, Agass. *Palæothrissum*, Blainv.

du genre saurien qui fréquentaient les marais et les bords des rivières. Ces fossiles sont caractéristiques, non-seulement pour la formation, mais particulièrement pour le *kupfer-schiefer*.

Le *calcaire zechstein proprement dit* est compacte, enfumé, à cassure conchoïde, massif, accidentellement schisteux. Sa puissance varie depuis quelques mètres jusqu'à 20 et 30. Les substances métalliques y apparaissent aussi de temps en temps : pyrites cuivreuses, cuivre carbonaté, galène.

L'étage supérieur de la formation du zechstein se subdivise

[1] Parmi les causes qui ont, à certaines époques, amené brusquement la destruction des faunes existantes, quelques géologues signalent l'empoisonnement par de fortes émanations minérales.

en deux assises : 1° *le calcaire celluleux* (*rauwake*) ; 2° *le calcaire fétide* (*stinkstein*).

Le premier est un calcaire magnésifère dur et compacte, de couleur sombre, grisâtre ou noirâtre, celluleux et même caverneux. Ses cavités sont inégales , longues et étroites, couchées dans le sens de la stratification. La puissance de la couche est en raison du nombre et de la grandeur de ces cavités ; ce calcaire passe à la *brèche*.

Le stinkstein est compacte ou grenu, brun noirâtre ou verdâtre, bitumineux, essentiellement fétide par le choc ou par le frottement, massif, fragmentaire ou tabulaire; il passe aussi au calcaire brèchiforme. Quelquefois, dans sa partie supérieure, ce calcaire devient tout à fait incohérent, friable et même pulvérulent, et contient des fragments disséminés de stinkstein qui conservent leur solidité. Ce calcaire friable est connu sous le nom de cendres (*asche*) ; l'assise du stinkstein atteint une puissance de 1 à 30 mètres ; elle contient, comme substances accidentelles, du gypse, du sel gemme, du fer hydraté, de la chaux carbonatée pure en rognons friables et nacrés, quelques concrétions siliceuses.

La subdivision de cette formation en quatre assises se maintient assez bien dans tout le centre de l'Allemagne, mais sans que les lignes de séparation soient bien tranchées ; car toutes sont susceptibles de se fondre les unes dans les autres, de manière que les caractères distinctifs s'éteignent graduellement.

Ici commence pour l'agriculteur la série des calcaires assez friables, avec alternances plus ou moins marneuses. Le sol formé par la décomposition de ces matières est très-fertile ; il renferme d'ailleurs des éléments naturels, propres au marnage et au chaulage, et un grand nombre de sources.

Grès vosgien.

Syn. : Grès des Vosges, partie des grès bigarrés de M. Cordier; partie du grès rouge supérieur de divers géologues.

Les montagnes centrales des Vosges sont bordées par des rangées plus ou moins continues de montagnes ou plateaux à escarpements brusques, composés de grès rouge à leur partie inférieure, mais dont la partie supérieure est formée d'un autre grès, dit grès des Vosges. Ainsi qu'on le voit, le zechstein manque.

Du côté du sud et de l'est, ces grès forment une ceinture étroite, découpée, souvent interrompue par de profondes vallées, et présentant partout des pentes rapides ou abruptes. Dans les lacunes, on aperçoit de temps en temps de grandes quilles, restées comme témoins de la formation des grès, et dont les lignes de stratification se raccordent entre elles et avec celles des plateaux les plus voisins. Vers le nord-ouest, cette ceinture est large et continue : c'est un vaste plateau qui forme toute la partie nord des Vosges; les couches plongent légèrement vers l'ouest nord-ouest et vont se perdre sous les formations postérieures de la Lorraine.

Le grès des Vosges, dit M. Élie de Beaumont, se compose de grains amorphes de quartz, incolores et translucides, souvent d'apparence cristalline, à facettes miroitantes, de grosseur variable, depuis celle d'un grain de millet jusqu'à celle d'un grain de chènevis. La surface de ces grains reflète vivement les rayons du soleil; elle est ordinairement couverte d'un léger enduit d'oxyde de fer, rouge ou hydraté. Le ciment est le fer hydraté, ou bien il est complétement invisible, mais alors la roche a très-peu de consistance. Au milieu des grains de

quartz, l'on en voit souvent d'autres d'un blanc mat, opaque, plus anguleux et moins solides, qui sont du feldspath, quelquefois en décomposition. Les couleurs les plus ordinaires de la roche sont le rouge pâle ou foncé, le violet, le jaune ocreux ; elle se divise naturellement en gros blocs, irrégulièrement pseudo-réguliers. Ces blocs paraissent eux-mêmes, très-souvent, composés de feuillets un peu courbes et non parallèles à la ligne de stratification. Les couches diffèrent les unes des autres par la diversité des nuances qui, dans une même assise, offrent des zones parallèles ou des taches qui donnent au grès un aspect bigarré ; cette diversité des nuances est accompagnée ordinairement de variations dans la cohésion, de petites différences dans la grosseur des grains et surtout d'une abondance plus ou moins grande de galets, qui ont jusqu'à un ou deux centimètres de diamètre, et en font quelquefois un véritable poudingue à pâte de grès. Ces galets sont de quartz blanc, parfaitement arrondis, gris-rougeâtre et rouge, à cassure inégale; ces derniers sont quelquefois traversés par des veines de quartz blanc, contenant des paillettes de mica brun-rougeâtre ; ils caractérisent le grès des Vosges. On voit souvent ces cailloux se détacher de la roche, laissant alors des vides nombreux qui donnent à la roche une apparence boursouflée.

Ces grès reposent presque toujours, en France, sur le grès rouge, et le passage est presque insensible entre les deux roches. Cependant, ils en diffèrent par une plus grande consistance, par le défaut d'alternance avec des argiles schisteuses et l'absence de taches noires fréquentes dans le grès rouge.

La stratification du grès rouge et du grès des Vosges paraît généralement concordante. M. Élie de Beaumont a seulement remarqué que, d'après les niveaux bien plus élevés qu'atteint

souvent le grès des Vosges, on peut supposer que les deux formations ont été séparées par des mouvements du sol, qui auraient élevé le niveau des eaux. Peut-être, dit-il, pourrait-on penser que le grès des Vosges qui, par sa position et ses caractères, occupe une place intermédiaire entre le grès rouge et le grès bigarré, est une formation parallèle au zechstein de l'Allemagne et au calcaire magnésien de l'Angleterre. Ne pourrait-on pas admettre que cette formation calcaire et le grès des Vosges proprement dit s'excluent mutuellement? En effet, non-seulement il n'existe pas de zechstein dans les Vosges, dans la Forêt-Noire et dans les autres systèmes du midi de l'Allemagne, où se montre le grès des Vosges; mais on remarque encore qu'en Angleterre, dans les parties du Cheschire, du Lancashire, du Cumberland, où certaines couches du *new-red sandstone* (*nouveau grès rouge*) présentent des caractères minéralogiques semblables à ceux du grès des Vosges, le calcaire magnésien n'existe pas; tandis que dans les parties du sud et du nord de l'Angleterre, où le calcaire magnésien existe, aucune des couches du nouveau grès rouge ne se présente avec les caractères qui distinguent essentiellement le grès des Vosges.

Dans ce cas, le terrain pénéen ne serait représenté que par deux formations, celle du grès rouge, et celle du zechstein et du grès des Vosges, susceptibles de se remplacer, mais ne pouvant exister toutes deux à la fois.

Le grès vosgien ne contient presque jamais de débris organiques, cependant on y a trouvé, quoique rarement, quelques débris de *calamites*. M. Élie de Beaumont, faisant concorder ce fait avec la nature même du grès, en infère que, peut-être, les éléments constituants se sont accumulés beaucoup plus rapidement qu'ils n'auraient pu le faire, s'ils avaient dû leur ori-

gine uniquement à l'action érosive des eaux ; de telle sorte qu'ils auraient été en partie formés par voie de précipitation chimique et de cristallisation confuse, dans une eau troublée par des courants chargés de détritus. Cette hypothèse résume d'une manière très-heureuse les différences à établir entre le grès rouge, roche conglomérée, roche de transition par excellence et le grès des Vosges, dont la nature se prête très-bien à supposer sa formation due à une action chimique sur des matières charriées (feldspath, grains roulés et galets de quartz).

Cette roche contient des filons d'oxyde de fer exploitables, des carbonates, des phosphates et des arséniates de plomb, de la galène, de la calamine et du cuivre assez généralement trop disséminés pour donner lieu à une exploitation fructueuse.

On retrouve dans l'aspect agricole du sol tout ce que nous avons déjà vu dans les grès précédents. Mais néanmoins les parties qui sont favorablement situées pour ne pas éprouver de trop grandes sécheresses peuvent, grâce au marnage et à une culture bien entendue, acquérir une fertilité assez grande et fournir des céréales. Les montagnes sont couvertes de belles forêts.

TERRAIN TRIASIQUE.

SYN. : Formation triasique ; *keuper* des Allemands ; partie de la période salino-magnésienne de M. Cordier.

Ce terrain a reçu le nom de trias pour rappeler le nombre trois des étages qui le constituent, et qui sont : 1° l'étage du *grès bigarré ;* 2° l'étage du *calcaire coquillier* ou *muschelkalk*, et 3° l'étage des *marnes irisées*, contenant elles-mêmes dans beaucoup de localités, et comme roches subordonnées, du gypse, de la houille et du sel gemme.

Grès bigarrés.

SYN. : Nouveau grès rouge supérieur des Anglais ; formation pœcilienne de M. Huot; *bunter sandstein* des Allemands.

Cette formation est composée principalement de grès brunâtres ou rougeâtres, de psammites (grès, argilo-micacé), de macigno et de marnes bigarrées. La plupart de ces roches, contenant du mica en proportion notable, présentent généralement une tendance à se déliter en feuillets. Ses limites sont peu tranchées, car le calcaire conchylien, et même le gypse et le sel gemme du keuper, se montrent quelquefois comme roches subordonnées dans sa partie supérieure, et inférieurement il se confond soit avec les grès du terrain pénéen, soit avec les psammites du terrain houiller. Les grès bigarrés renferment peu de débris organiques du règne animal ; cependant dans les parties supérieures, on trouve la posidomia keuperina de Hœning, la posidomia minuta (*fig.* 42), le natica gaillardoti, la lima striata et lineata ; ces mollusques sont accompagnés de quelques polypiers, de crustacés, de poissons et de reptiles. Les

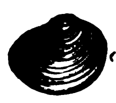


Fig. 42. — *Posidonia minuta*, Goldf. (*Posidonomya minuta*, Bronn.)

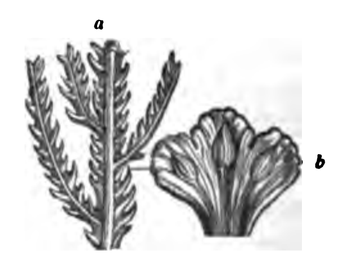


Fig. 43. — *a*. *Voltzia heterophylla*. (Syn. *Voltzia brevifolia*.) *b*. Portion grossie pour montrer la fructification. Soultz-les-Bains.

débris végétaux moins rares présentent des espèces différentes de celles des terrains houillers ; les plus caractérisques sont le

voltzia brévifolia (*fig.* 43), le calamites arenaceus, le nevropteris voltzii. Parmi les débris d'animaux, ou plutôt les traces, outre celles d'oiseaux, on en trouve d'un animal inconnu qu'on a nommé cheirotherium, parce que les traces des pieds de devant et de derrière ont une grande ressemblance avec celle que laisserait une main d'homme (*fig.* 44).



Fig. 44. — Une empreinte de pas *Cheirotherium*. Saxe. 1/8e de grandeur naturelle.





Fig. 45. — Piste sur une plaque de grès. Saxe.

Le muséum de géologie du Jardin des plantes à Paris possède un magnifique spécimen de ces pistes venant de Hildburghausen, en Saxe. On suppose assez généralement que ces empreintes ont été faites par un énorme *Batracien* (*fig.* 45).

Ce terrain est en général très-nettement stratifié et se trouve assez répandu à la surface du globe. Il forme des massifs assez développés le long des Vosges; on le remarque à Bourbonne-les-Bains, Sarrebruck, Plombières, etc.

Le grès bigarré donne d'excellentes pierres de taille, des meules à aiguiser, des dalles pour le pavage et se délite assez facilement pour permettre d'en couvrir les maisons; l'argile qu'il contient est propre à la fabrication des briques et des tuiles.

En agriculture, le grès bigarré présente des différences très-notables, suivant la disposition extérieure du sol; sur les plateaux, il est assez aride par suite du manque d'eau, à moins que quelques-unes des couches marneuses ne soient près du sol.

Néanmoins, la végétation forestière y est belle, surtout les essences hêtre, chêne et sapin. Les vallées sont riches en belles prairies.

Muschelkalk.

SYN. : Calcaire coquillier ou conchylien; formation conchylienne de M. Huot; calcaire à cératites de M. Cordier.

Ce groupe des terrains du trias est un de ceux qui manquent le plus souvent. On ne le connaît ni en Angleterre, ni dans le nord de la France ou de l'Allemagne; mais il est assez développé dans le sud de ce dernier pays, et en France dans la Lorraine et le Var. Il est caractérisé d'une manière très-tranchée par la nature de son calcaire gris ou jaunâtre, quelquefois magnésien, alternant avec des dolomies ou des marnes; il est assez variable dans son aspect; sa cassure est tantôt esquilleuse, coupée de petites lames spathiques provenant généralement de la transformation de débris de fossiles; tantôt terreuse, par suite du passage du calcaire à une pâte marneuse. et enfin compacte sableuse ou bréchiforme. Il contient quelques rognons de silex. Ses limites sont établies avec assez de précision par les marnes irisées, en dessus, et les roches siliceuses du grès bigarré, en dessous; il s'y trouve enclavé avec leurs stratifications concordantes..

Les dolomies sont quelquefois cristallines, à gros grains spathiques et quelquefois sublamellaires à grains fins. Leur couleur varie du gris au jaune et au rougeâtre; elles renferment de petites cavités remplies de cristaux calcaires ou de marne. Les dolomies sont un accident des calcaires qui se sont modifiés par le voisinage des actions plutoniennes.

Les couches marneuses deviennent beaucoup plus abondan-

tes à mesure que l'on se rapproche des marnes irisées, et semblent indiquer le passage insensible à cet étage ; les bancs ont peu d'épaisseur et varient entre les couleurs noire, grise, jaunâtre ou verdâtre. On y rencontre parfois des rognons de quartz agate, calcédoine rubannée.

Cet étage a été formé par voie de dissolution et par voie mécanique : c'est un dépôt littoral comme le grès bigarré. Il est très-riche en fossiles dont les plus caractéristiques sont l'ammonites nodosus et l'avicula socialis (*fig.* 46 et 47) ; cette dernière surtout

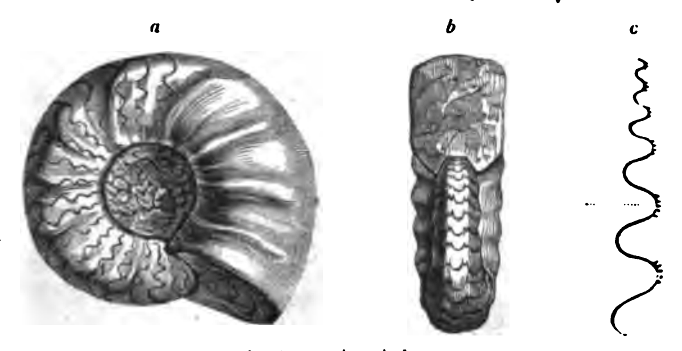


Fig. 46. — *Am. Aodusus.*
a. Vu de côté. — *b.* Vu de face. — *c.* Bord en partie dentelé des cloisons qui séparent les chambres.

est souvent très-commune. On y trouve des térébratules et des encrines, des débris nombreux de poissons et de reptiles ac-



Fig. 47. — *a. Avicula socialis.* — *b.* La même vue de côté.

compagnés de petits corps transformés en calcaire compacte, ressemblant, par leur forme extérieure, à des excréments fossiles et que, pour cette raison, on a désignés sous le nom de *coprolites.*

Le muschelkalk n'atteint jamais de grandes épaisseurs, vingt-cinq ou trente mètres le plus ordinairement. Lorsque le calcaire affleure au sol sous une faible inclinaison, et surtout lorsque les couches sont un peu marneuses, il constitue un bon sol arable; mais si, au contraire, il présente des pentes brusques, tous les détritus de la roche sont entraînés et il ne reste qu'une surface aride et sèche, repoussant toute végétation.

Marnes irisées.

SYN. : Formation keuprique; *keuper* des Allemands; *red marle* des Anglais.

Cet étage est représenté principalement par des roches marneuses ou argileuses, et le surnom de marnes irisées indique déjà, comme pour les grès bigarrés, des variétés de couleur. En effet, elles présentent les différentes teintes rouge, violette, lie de vin, verdâtre, jaunâtre, grise, plus ou moins foncées. Ces couleurs, le plus souvent disposées par couches parallèles et n'ayant pas de limites parfaitement tranchées, sont communes aux alternances argileuses et marneuses qui constituent ce dépôt, ainsi qu'aux grès, plus ou moins friables et argilifères, qui s'y trouvent souvent intercalés.

Les marnes irisées sont assez développées en Lorraine, en Alsace et autour du grand plateau central. Elles renferment un grand nombre de substances employées dans l'industrie, parmi lesquelles se place en première ligne le sel gemme, dont les couches présentent quelquefois plusieurs mètres d'épaisseur sans mélange de substances étrangères. Il arrive souvent que les masses de sel gemme ont été fondues, et ne se rencontrent que par masses plus ou moins rapprochées. Lorsque les argiles et le sel gemme se trouvent, comme à Vic et à Dieuze

(Meurthe), en grande abondance et à une faible profondeur, on exploite en roche et par galerie. Aujourd'hui, et surtout lorsque la profondeur est grande, on exploite le sel par dissolution dans le sol même. On pratique pour cela des trous de sonde qui traversent une ou plusieurs couches de sel ou d'argiles salifères ; au moyen d'un tubage on garantit le gîte salifère des infiltrations supérieures qui, étant trop abondantes, s'opposeraient à ce que l'eau prît son maximum de saturation. L'eau naturelle ou celle que l'on a introduite dans les couches salifères en quantité convenable, ayant acquis le degré le plus voisin possible du maximum de saturation (25°), est pompée et jetée immédiatement dans les poêles d'évaporation. Par ce procédé on évite, en grande partie, les frais qu'entraîne l'exploitation du sel en roche, surtout lorsque son état d'impureté ne permet pas de le livrer immédiatement au commerce.

La seconde richesse importante de cet étage consiste dans des couches de houille maigre, ordinairement d'assez mauvaise qualité, mais rendue précieuse par son voisinage d'autres matières exploitées presque en même temps. Cette houille renferme elle-même une grande quantité de pyrites de fer. Enfin, on exploite encore, conjointement avec la houille et le sel, de grandes masses gypseuses. Tous ces éléments se transforment sur place en produits chimiques; tels que acide sulfurique, acide hydrochlorique, soude, alun, plâtre, etc.

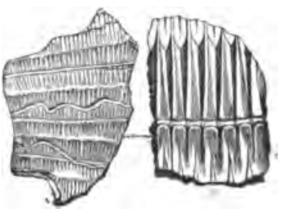


Fig. 48. — *Equisetum columnare.* Fragment de tige, et petite portion de la même, grossie.

Les fossiles consistent principalement en végétaux nombreux, (*fig.* 48) en mollusques, beaucoup plus rares, et en débris de sauriens et de poissons. Ces fossiles,

à l'exception des végétaux, se rencontrent difficilement; mais le facies particulier de ce terrain et sa position géologique permettent presque toujours de le reconnaître facilement, surtout en France.

On trouve encore dans cet étage, mais accidentellement, de la galène, du cuivre carbonaté et du fer hydroxydé.

Des sources salées prennent naissance dans ce terrain ; bien que plus fréquentes que les dépôts de sel en couches, et s'échappant de points qui n'en renferment pas, on ne peut guère douter qu'elles ne soient en communication plus ou moins directe avec ces gîtes.

Il est assez difficile d'expliquer, d'une manière rigoureuse, la présence dans le sol de masses de sel gemme aussi considérables, car elles atteignent quelquefois plus de cent mètres d'épaisseur, en déduisant les couches de gypse et d'argile qui alternent avec elles. Jusqu'ici, on admet que ce sont de vastes lacs salés qui se sont évaporés par l'effet d'actions ignées, ou que ces masses de sel et de gypse sont le résultat d'émanations acides et salines, au moment des cataclysmes plutoniens ; ou bien encore qu'elles sont dues à des sources minérales. Ce qu'il y a de certain, c'est que les roches calcaires qui avoisinent ce groupe sont toutes passées à l'état de dolomies, et que ce changement s'observe surtout au contact de roches d'épanchement, assez fréquentes dans les mêmes localités.

Les marnes irisées présentent à la superficie du sol tous les éléments nécessaires à la culture des produits les plus variés. Elles forment des séries de mamelons à croupes arrondies permettant, sous un climat favorable, le développement de la vigne.

TERRAINS JURASSIQUES ET OOLITHIQUES.

Ces terrains ont été ainsi nommés, parce qu'en Angleterre et dans d'autres pays où ils ont été originairement étudiés, on a trouvé que les calcaires qui en dépendent avaient une structure oolithique ou analogue à la formation de la chaîne du Jura. Ces terrains sont compliqués, difficiles à distinguer dans leurs subdivisions ; on peut toutefois les partager en quatre étages : *liasique*, *oolithe inférieure*, *oolithe moyenne* et *oolithe supérieure*.

ÉTAGE LIASIQUE.

Immédiatement au-dessus du trias se trouve, dans l'Allemagne occidentale, dans toute la France, dans l'Angleterre et dans d'autres pays, un groupe de terrains tout à fait distinct par ses caractères minéralogiques et surtout par les générations organiques qui vivaient dans les mers et sur la terre à l'époque de sa formation. Ces caractères sont nombreux, importants et tranchés. Ce groupe de terrains est représenté, en presque totalité, par des calcaires et des argiles, sa base est occupée par un système de grès qui n'existe pas constamment dans ce terrain.

Grès infra-liasique.

SYN. : Grès du lias ; *quadersandstein* des Allemands; infra-lias de quelques géologues ; partie inférieure de l'étage sinémurien d'Alcide d'Orbigny (de la ville de Semur).

Ces grès se montrent principalement en Lorraine, en Bourgogne et en Allemagne où, à cause de la propriété qu'ils ont de se diviser assez régulièrement en dalles quadrilatérales, les Allemands leur ont donné le nom de *quadersandstein* ou *grès à*

carreau. Ils sont susceptibles de varier dans leur texture et leur coloration, leur pâte est presque toujours calcarifère. Au contact des roches d'épanchement, ils se métamorphosent et passent à l'*arkose*. On trouve dans ces roches des rognons siliceux et quelquefois des minéraux, plomb, chrome, baryte, manganèse, etc.; mais presque toujours inexploitables.

Ces grès alternent avec des couches minces de marne schisteuse, assez souvent noirâtre et sableuse. Les fossiles y sont rares et presque indéterminables ; ils consistent en mollusques des genres *Pecten, Cyherea ? Mya ? Plagiostoma ?* et *Modiola.*

Marnes et Calcaires avec gryphées.

SYN. : Partie supérieure de l'étage sinémurien d'Alc. d'Orbigny ; calcaire à *gryphæa arcuata.*

Le calcaire du lias et les marnes ou argiles qui l'accompagnent sont généralement d'un gris bleuâtre. C'est dans ces roches que se trouve le plus grand nombre d'espèces de coquilles et d'espèces de minéraux. Parmi ces coquilles fossiles, on remarque principalement un *plagiostome* d'un volume



Fig. 49. — *Plagiostoma (Lima giganteum).*



Fig. 50. — *Gryphæa incurva* ou *Gryphæa arcuata.*

considérable, et une *gryphée* qui s'y trouve en abondance extraordinaire, etc. (*fig.* 49 et 50).

Cette gryphée, plus que tous les autres fossiles, caractérise ce terrain. De nombreux sauriens, parmi lesquels des *ichthyosaures* et des *plésiosaures*, y sont représentés par des débris nombreux de vertèbres ou de côtes (*fig.* 51 et 52).

Cette formation est souvent très-puissante, notre sondage de Donchery (Ardennes) l'a traversée sur une épaisseur de 130 mètres. Ce sondage, qui avait pour but la recherche du terrain houiller, a été arrêté à 387 mètres dans les terrains ardoisiers; il a donc démontré l'inopportunité de recherches houillères dans ce département, et justifié les doutes de succès que MM. Sauvage et Buvignier avaient émis dans les coupes qui accompagnent leur carte géologique de ce pays.

Dans certaines localités de la France, les parties calcaires de ce terrain sont souvent employées comme marbres; leur couleur noire bleuâtre est relevée par des taches et des veines blanchâtres de spath calcaire, incrustant des cavités produites par la destruction de polypiers ou de coquilles. Cette couleur blanche et noirâtre est due à des pyrites de fer intimement liées à la masse, et non pas, comme on l'a cru, à une substance bitumineuse. Ces calcaires et ces marnes donnent souvent lieu à des exploitations importantes pour la fabrication des chaux hydrauliques.

Calcaire sableux.

SYN. : Étage liasien de M. Alc. d'Orbigny; calcaire à *gryphæa cymbium*.

Au-dessus de ces marnes et calcaires à gryphées arquées viennent se placer des calcaires sableux, d'un gris plus ou moins foncé et d'une extrême dureté, avec des sables marneux micacés. Les fossiles, quoique nombreux, sont souvent assez difficiles à déterminer ; le plus caractéristique est une gryphée

se rapprochant beaucoup de celle rencontrée dans le terrain précédent et que l'on désigne sous le nom de *gryphæa cymbium*.

Marnes et Calcaires ferrugineux.

SYN. : Étage toarcien de M. d'Orbigny, de la ville de Thouars (Deux-Sèvres).

A la partie supérieure des terrains qui précèdent viennent se placer des assises d'argile marneuse, quelquefois sableuse et micacée, d'une couleur grise, renfermant beaucoup de nodules ferrugineuses, contenant au centre une substance ocreuse qui semble provenir de la décomposition d'une matière organique; on y trouve encore assez fréquemment des plaquettes d'un calcaire en couches minces, composé presque exclusivement de petites coquilles souvent pyriteuses, formant par leur agrégation une véritable roche lumachelle. Enfin, ces marnes sont couronnées par un calcaire de nuances plus ou moins variées de bleuâtre, de verdâtre et de rougeâtre par la présence du fer. A mesure que l'on se rapproche des terrains suivants, le calcaire se charge d'une multitude de petites oolithes ferrugineuses.

On rencontre dans ce terrain beaucoup de fossiles appartenant à des *mollusques*; mais l'ensemble du lias est surtout remarquable par les nombreux débris de *sauriens* dont on retrouve souvent des dents et des vertèbres qui ont permis de les restaurer.

Ces animaux, singuliers par leurs formes et leurs dimensions, se rapprochaient, les uns, des poissons et des lézards, mais ayant jusqu'à 7 et 8 mètres de longueur (*fig.* 51 et 52), les autres, de reptiles ailés, véritables dragons de la Fable, avec un long cou, une tête d'oiseau, un corps de mammifère et des ailes analogues à celles des chauves-souris (*fig.* 53). Ce singu-

lier animal, que l'on nomme ***pterodactylus***, était probablement moins à redouter que la vue de ses débris ne semblerait le faire

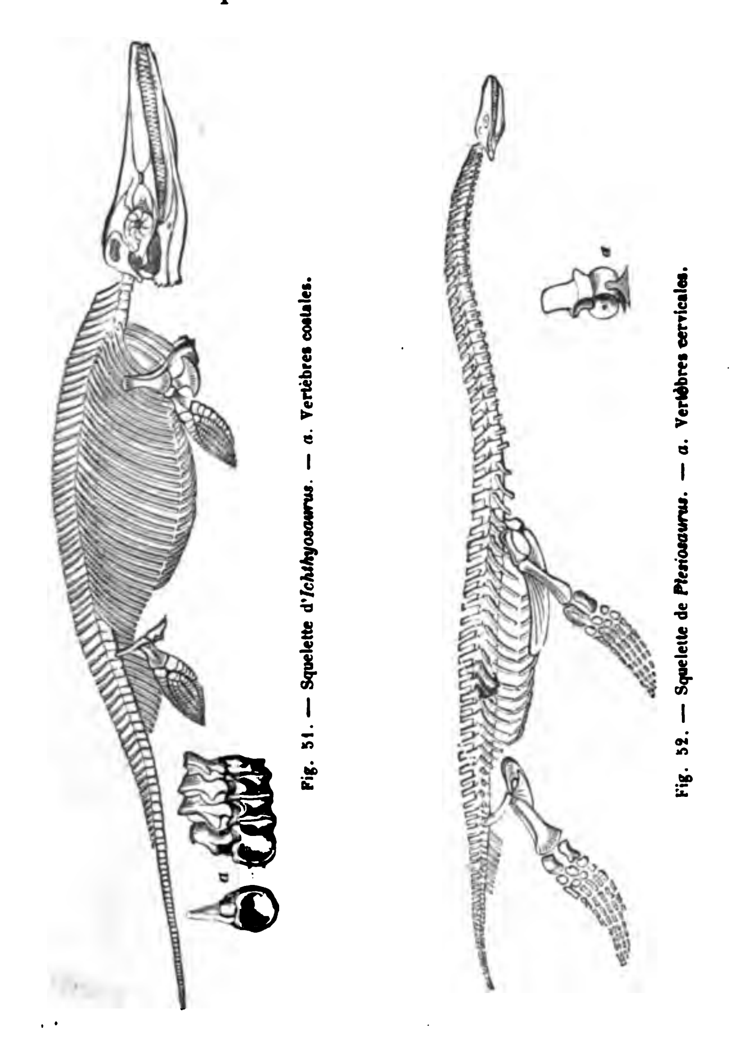


Fig. 51. — Squelette d'*Ichthyosaurus*. — *a*. Vertèbres costales.

Fig. 52. — Squelette de *Plesiosaurus*. — *a*. Vertèbres cervicales.

croire, car il est aujourd'hui à peu près reconnu qu'il se nourrissait d'insectes.

Ces terrains renferment quelquefois du gypse et du sel gemme susceptible d'exploitation, des marnes bitumineuses et sulfureuses que l'on distille pour en extraire une huile propre à l'éclairage, du goudron et de l'ammoniaque, ou que l'on brûle pour en faire des cendres propres à l'amendement des terres, et enfin du fer en dépôts assez importants.

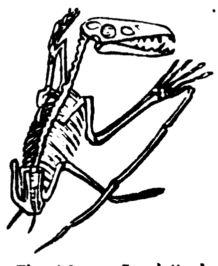


Fig. 53. — Squelette de *Pterodactylus*.

Les contrées dont le sol repose sur des couches liasiques sont productives, mais d'une culture coûteuse, par suite du grand nombre d'animaux de trait que nécessite la ténacité de la terre arable, dont le défaut de perméabilité retient les eaux : aussi n'est-il pas rare de voir cinq ou six chevaux attelés à une charrue, surtout si, dans le sol à travailler, les marnes dominent. Sur quelques coteaux bien exposés, la vigne réussit assez bien ; cependant ses produits sont peu estimés. Les vallées sont très-fertiles ; le sol est presque toujours formé par le mélange des matières terreuses aux sables, aux argiles et aux calcaires que l'action des eaux entraîne des coteaux voisins. En tout cas, ces matières étant toujours à des distances très-rapprochées, on peut se les procurer sans de grands frais.

ÉTAGES OOLITHIQUES.

Syn. : Étage alpin de quelques géologues.

Les trois étages que nous allons successivement passer en revue sont souvent désignés sous les noms d'oolithe inférieure, moyenne et supérieure, parce que chacun d'eux renferme des calcaires grenus, dont partie des éléments sont de petits sphé-

roïdes semblables à des œufs de poisson transformés en pierres, et que pour cette raison on a nommés oolithes. Ces petits grains, par la disposition concentrique des éléments qui les composent, semblent indiquer une attraction moléculaire exercée par de petits corps tenus en suspension dans l'eau. En parcourant la succession des couches de chacune des divisions, nous les rencontrerons avec des dimensions et des couleurs variables.

OOLITHE INFÉRIEURE.

Cet étage se compose de trois groupes principaux qui sont :

1. Oolithe ferrugineuse et Argile dite Terre à foulon.

SYN. : Calcaire à entroques de divers géologues; bajocien d'Alc. d'Orbigny (de la ville de Bayeux, Calvados) ; *fuller's earth* des Anglais; oolithe inférieure.

La première couche de ce groupe est caractérisée par une grande abondance d'oolithes ferrugineuses formant un hori-



Fig. 54. — *Ostrea marshii.* Demi-grandeur naturelle.



Fig. 55. — *Ammonites striatulus.* Un tiers de grandeur naturelle.





Fig. 56. — *Pleurotomaria granulata.*



Fig. 57. — *Pleurotomaria ornata.*

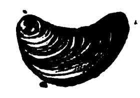


Fig. 58. — *Ostrea acuminata.*

zon très-tranché, séparant les couches liasiques des couches supérieures. Ces oolithes sont sur certains points exploitées

comme minerai de fer. Elles contiennent un grand nombre de débris fossiles. Au-dessus de ces calcaires à oolithes ferrugineuses viennent se placer des alternances de marnes et d'argiles dont quelques-unes, par leurs propriétés absorbantes, sont employées au dégraissage des étoffes de laine, ce qui leur a fait donner le nom de *terre à foulon* ou *fuller's earth*. Les fossiles les plus caractéristiques de ce groupe sont l'*ostrea marshii*, l'*ammonites striatulus*, les *pleurotomaria granulata* et *ornata*, et l'*ostrea acuminata* dans le fuller's earth (*fig.* 54, 55, 56, 57 et 58).

2. Calcaire blanc, ou calcaire de la grande oolithe.

Syn. : Bathonien de M. d'Omalius d'Halloy (de Bath, en Angleterre).

La grande oolithe est spécialement composée d'oolithes grosses comme des grains de millet, et soudées entre elles par un ciment marneux compacte et peu abondant.

Ces couches se composent d'alternances de bancs calcaires plus ou moins épais, donnant quelquefois de fort belles pierres

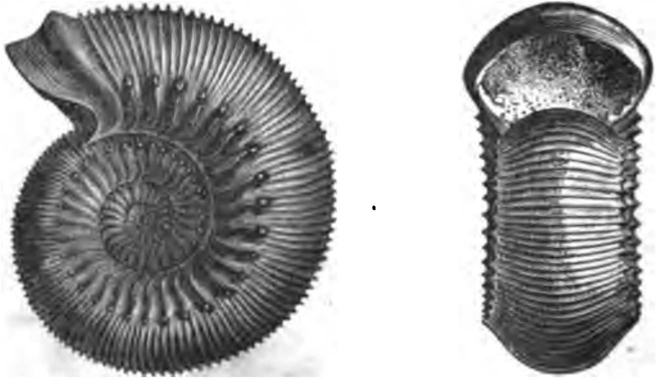


Fig. 59. — *Ammonites humphriesianus.*

de taille lorsque les oolithes sont fines et blanches ; leur dureté

est variable; souvent elles sont assez tendres pour tacher les doigts en blanc sous la plus légère pression. Dans les grands bancs, les fossiles sont peu abondants et appartiennent à des animaux tout à fait du littoral, des polypiers, des échinodes et des serpules. Ces fossiles n'offrent souvent que leur moule et





Fig. 60. — *Am. margaritus* Fig. 61. — *Am. Braikenridjii.*

sont transformés en *spath calcaire;* vers la base ils sont plus nombreux; les plus remarquables sont l'*ammonites humphriesianus*, *am. margaritus*, *am. Braikenridjii.* (*fig.* 59, 60 et 61).

3. Diverses alternances de couches calcaires et argileuses.

Syn. : Cornbrash, forest marble Bradford-Clay, partie du Kelloway.

La partie supérieure de la grande oolithe est souvent recouverte, surtout en Angleterre, par des alternances de calcaires, de grès et d'argiles. Quelques-uns de ces calcaires argileux et pétris de fossiles marins, tels que polypiers et encrines, ont été nommés par les Anglais *forest marble*, et sont exploités comme marbre dans la forêt de *Wichwood.* La marne est également pétrie de tiges fragmentées d'encrines; elle a reçu des Anglais le nom de *Bradford*, de la localité où elle se présente avec le plus d'abondance. Le *cornbrash* est un calcaire mince passant souvent au grès, contenant beaucoup d'oolithes; sa nature fissile, le rendant propre aux usages des tuiles, l'a fait

désigner aussi sous le nom de *tile stone* (*pierre tuilière*). Ces diverses couches semblent s'être formées très-lentement sur les rivages; elles se moulent exactement les unes sur les autres, en conservant les traces les plus légères.

Les fossiles sont assez nombreux; mais les plus caractéristiques par leur nombre sont, ainsi que nous l'avons déjà dit, des *encrines,* espèces de zoophytes à tiges articulées, dont les fragments, par le grand nombre de leurs divisions, sont très-répandus (*fig.* 62).

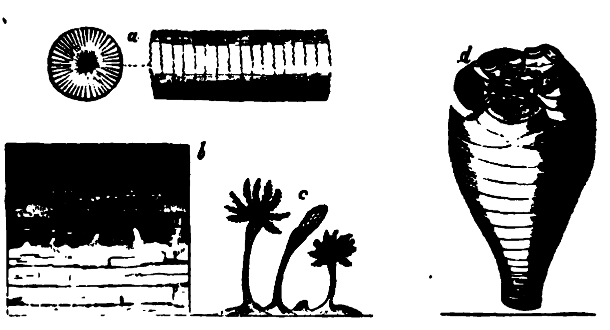


Fig. 62. — *Apiocrinites rotundus*, ou Encrine-poire.
a. — Tige d'*Apiocrinites* et l'une de ses articulations; grandeur naturelle. — *b.* Coupe de la grande oolithe, à Bradford, et argile qui la surmonte, avec Encrines fossiles. — *c.* Trois individus complets d'*Apiocrinites* représentés dans leur mode de croissance sur la surface de la grande oolithe. — *d.* Corps d'*Apiocrinites rotundus*.

M. Lyell fait observer qu'à Bradford, près de Bath, la surface supérieure solide de la grande oolithe paraît avoir été couverte, pendant un certain temps, d'une épaisse forêt sous-marine composée de ces magnifiques zoophytes, et cet état dura jusqu'au moment où l'eau limpide et tranquille fut envahie par un courant, chargé de boue, qui renversa les crinoïdes et brisa leur tige juste à fleur du sol. Les souches sont encore dans leur position originelle; mais les nombreuses articulations qui formaient autrefois la tige, les rameaux et le corps des zoophytes,

ont été disséminées au haasrd dans le dépôt argileux. Cette disposition est figurée dans la coupe *b*.

OOLITHE MOYENNE.

Cet étage se compose de trois groupes distincts qui sont :

1. L'oxford-clay.

SYN. : Partie du *kelloway rock* des Anglais, du callovien d'Orbigny (de Kelloway); oxfordien du même auteur ; oolithe moyenne.

Cette puissante assise argileuse, très-développée en Angleterre, se présente sur plusieurs points en France. En Lorraine et en Franche-Comté, elle renferme souvent des strates calcaires, des dépôts de fer oolithiques exploitables et des chailles, espèces de rognons ou boules géodiques de différentes grosseurs, formés d'un calcaire siliceux souvent très-dur. Ce calcaire siliceux semble s'être réuni autour d'un corps organique servant de centre d'attraction aux molécules. Presque toutes les fois que l'on parvient à casser une chaille, on y trouve un débris de crustacé passé à l'état quartzeux.

Ces chailles sont quelquefois si fréquentes, que les argiles qui les renferment sont souvent désignées sous le nom d'argiles à chailles.

Parmi les fossiles répandus dans cette couche, il en est un déjà désigné dans les couches inférieures de l'oolithe ferrugi-

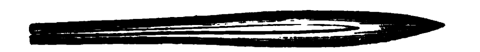


Fig. 63. — *Belemnites hastatus.*

neuse, l'*ostrea marshii* qui, par sa grande abondance, caractérise ce dépôt, le *belemnites hastatus* (*fig.* 63) et une ammo-

nite fort remarquable par sa bouche, protégée par deux appendices en forme de corne (*fig.* 64).



Fig. 64. — *Ammonites Jason.*

2. Coral-rag.

SYN. : Calcareous grit; *coral-rag* des Anglais ; corallien d'Alc. d'Orbigny.

Le coral-rag est un composé de calcaire presque exclusivement formé de polypiers, qui semblent être dans la position naturelle qu'ils occupaient de leur vivant : c'est un dépôt semblable aux bancs de coraux qui se forment aujourd'hui dans certaines mers, et principalement dans celles de l'Océanie.

A la base de ce dépôt, se trouvent quelquefois des sables et des grès calcarifères, auxquels les géologues anglais ont spécialement donné le nom de *calcareous grit*.

Presque toutes les assises du coral-rag contiennent des oolithes, en général d'une couleur blanchâtre plus prononcée que le restant de la roche. Ce calcaire est très-variable dans sa texture tantôt terreuse, peu compacte, marneuse, et tantôt tel-

lement fine et compacte qu'on l'exploite comme pierre lithographique.

Parmi les nombreux coraux du coral-rag, les plus remarquables et les plus nombreux sont ceux indiqués ci-dessous (*fig*. 65 et 66).



Fig. 66. — *Thamnastræa.*



Fig. 65. — *Thecosmilia annularis.*

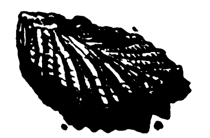


Fig. 67. — *Ostrea gregarea.*

Au nombre des mollusques les plus répandus se trouve *l'ostrea gregarea* (*fig*. 67).

3. Calcaires et Marnes.

Syn. : Calcaire à astartes, calcaire à nérinées; partie du corallien d'Alc. d'Orbigny.

Au-dessus du coral-rag proprement dit, se présentent souvent, ou s'y substituent complétement dans certains cas, des alternances de calcaires et de marnes contenant en grand nombre, avec une partie des fossiles coralliens, des coquilles particulières désignées sous le nom d'*astartes*. Ces débris, encore peu connus, appartiennent à des bivalves du genre des vénus ou des trigonies; ils sont fréquemment accompagnés d'autres fossiles univalves ayant une certaine ressemblance

avec les cérites que nous verrons plus au haut de l'échelle géognostique et que l'on désigne sous le nom de ***nérinées*** (*fig.* 68 et 69).







Fig. 68. — *Nerinæa hieroglyphica.* Fig. 69. — *Nerinæa Goodhallii.*

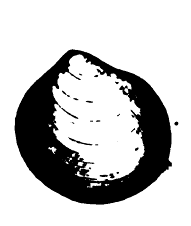
OOLITHE SUPÉRIEURE.

Cet étage se compose de deux groupes, qui sont :

1. L'argile de Kimmeridge.

SYN. : Kimmeridgien d'Alc. d'Orbigny (de la ville de Kimmeridge, en Angleterre); étage supérieur du système oolithique de MM. Dufrenoy et Élie de Beaumont; calcaires et marnes à gryphées virgules.

L'argile de Kimmeridge (du nom d'une localité anglaise où elle est très-développée) est une argile bleu ardoise ou jau-







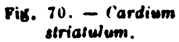


Fig. 70. — *Cardium striatulum.* Fig. 71. — *Ostrea deltoidea.* Quart de grandeur naturelle. Fig. 72. — *Gryphæa virgula*

nâtre, renfermant des calcaires de mêmes teintes, plus ou moins

compactes ou fissiles et dans lesquels on trouve une grande quantité de petites coquilles, que leur forme a fait nommer *gryphées virgules* (*fig.* 72) ; elles sont souvent accompagnées d'une huître de dimension assez remarquable, l'*ostrea deltoïdea* (*fig.* 71), d'un *cardium* (*fig.* 70), etc.

Ces argiles, qui affleurent au sol en Angleterre et en France, au cap de la Hève, près du Havre, sont presque toujours cachées sous les terrains supérieurs, ce qui ne les empêche pas d'avoir quelquefois une grande puissance. Un sondage à Rouen nous a prouvé que leur épaisseur pouvait dépasser 300 mètres.

2. Calcaire de Portland.

SYN. : Portlandien d'Alc. d'Orbigny, de la presqu'île de Portland en Angleterre (Dorsetshire); Portland stone.

Le calcaire de Portland recouvre les argiles de Kimmeridge



Fig. 73. — *Cardium dissimile.*

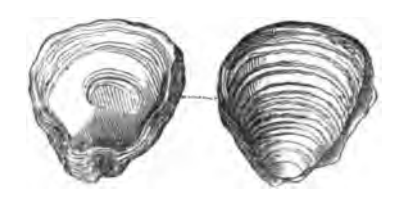


Fig. 74. — *Ostrea expansa.*



Fig. 75. — *Isastræa oblonga.*



Fig. 76. — *Trigonia gibbosa.*
Demi-grandeur naturelle.
a. Charnière.

et termine la série des couches jurassiques; il renferme comme

elles, dans ses calcaires plus ou moins compactes ou grossiers, un grand nombre de coquilles fossiles (*fig.* 73, 74, 76) et des polypiers remarquables (*fig.* 75). La pierre de Portland, suivant ses assises, est belle et est employée, surtout à Londres, dans la construction des grands édifices publics. Ces deux dernières assises de l'oolithe supérieure fournissent des matériaux estimés dans la fabrication des chaux et ciments.

L'ensemble des terrains jurassiques forme, sur le sol de la France, une espèce de ceinture qui entoure les terrains crétacés du nord-ouest de ce pays; ce pourtour apparent est limité par la Manche, dans la partie nord-ouest, et dans la partie nord par le bassin tertiaire de Bruxelles et les terrains anciens du Hainaut.

Dans la partie septentrionale de l'Angleterre, le terrain jurassique entoure de même les terrains superposés, crétacés et tertiaires.

Le long des terrains primitifs de la Bretagne, la bande jurassique est assez étroite; elle s'élargit dans le Poitou, où elle se réunit au massif qui forme la bordure du bassin crétacé du sud-ouest de la France; elle se prolonge ensuite dans le Berry et dans le Nivernais, le long du grand plateau primitif du centre, prend un nouveau développement dans la Bourgogne et dans la Lorraine, où elle se met en communication avec la chaîne du Jura, interposée entre les terrains primitifs du centre de la France et ceux des Alpes. Lorsque cette ceinture arrive près des terrains primitifs des Ardennes, elle se rétrécit en se courbant vers l'ouest, et se perd aux environs d'Hirson (Aisne).

Le terrain jurassique ayant formé un dépôt immense que les soulèvements sont venus disloquer, on le trouve en assises épaisses et régulières, peu inclinées dans les pays de plaines,

tels que la Franconie, la basse Normandie, le Poitou, la Saintonge, la Bourgogne, la Lorraine; il est, au contraire, en couches fortement inclinées et quelquefois brisées ou renversées sur les chaînes de montagnes, dans les Cévennes, les Alpes, le Jura, les Apennins. Du côté de Salins, les assises supérieures de ce groupe reposent immédiatement sur les marnes irisées du terrain keuprique. Dans les départements du Doubs, du Jura, de Vaucluse, du Var, et presque partout où le calcaire jurassique est bien développé, l'on remarque une grande quantité de sources abondantes que l'on emploie utilement à l'agriculture ou à l'industrie comme force motrice; la fontaine de Vaucluse donne naissance à une véritable rivière : il en est de même des sources de la Sorgue. Dans les départements du Jura et du Doubs, il existe des sources représentant la force de plusieurs centaines de chevaux, par suite de leur volume et de leur hauteur de chute.

Les trois étages jurassiques comportent dans leur ensemble une épaisseur de plus de 2,000 mètres. De nombreux sondages ont été pratiqués dans les différentes assises qui, en raison de leurs alternances perméables et imperméables, sont très-propices à l'obtention des eaux jaillissantes. Presque toutes les fois que l'on a persévéré dans ces assises puissantes, de beaux succès ont été obtenus. Malheureusement, à cause même de la grande épaisseur des terrains à traverser, beaucoup de sondages entrepris dans de bonnes conditions ont été abandonnés par les villes à des profondeurs de 150 ou 200 mètres : tels sont ceux de Verdun et de Romagne-sous-les-Côtes. Il est probable qu'avec les progrès des sondages, les dépenses étant beaucoup diminuées, de nouvelles entreprises seront poussées plus loin et couronnées de succès.

Rien n'est plus variable que l'aspect des sols qui reposent sur les différentes couches qui composent les terrains jurassiques ou oolithiques ; ainsi, le lias donne naissance à un sol froid, peu fertile, mais qu'un bon égouttement, le drainage, par exemple, peut sensiblement améliorer. L'oolithe inférieure, suivant que les calcaires ou les marnes dominent, constitue un sol arable assez productif, mais difficile à mettre en valeur, ou des prairies d'assez bonne qualité. La grande oolithe fournit tous les produits des sols calcaires en grande abondance. L'argile d'Oxford donne lieu à des terres arables lourdes, compactes, d'un travail difficile et coûteux, l'humidité la rend très-collante et la sécheresse trop dure ; néanmoins elle donne lieu à d'excellents pâturages. Nous passerons sous silence les autres couches calcaires ; elles rentrent, pour la composition du sol, dans les caractères déjà définis pour les couches précédentes. Les argiles de Kimmeridge avec leurs alternances calcaires donnent des prairies pauvres et humides lorsqu'elles sont pures ; mais mélangées aux calcaires, elles peuvent fournir de beaux produits en froment, surtout si des travaux d'assainissement viennent purger le sol de l'excès d'humidité qui lui nuit.

TERRAINS CRÉTACÉS.

SYN. : Terrain crétacé de MM. Élie de Beaumont et Dufrenoy; terrain crayeux de M. Rozet; cretaceous-group de M. de la Bêche ; mesozoïc, série de M. Morris, partie du terrain ysémien pélagique de M. Brongniart.

La limite supérieure de ce terrain est déterminée avec assez de précision ; il n'en est pas toujours de même de ses limites inférieures. Ces limites sont fondées sur les caractères que l'on regarde comme les plus importants en géologie, les rapports

de stratification, et les espèces des corps organisés fossiles ; par ceux-ci, il se distingue essentiellement des terrains de sédiment supérieurs, car il renferme un très-grand nombre de genres qu'on n'a pas encore reconnus dans ces terrains, tandis qu'il ne se distingue des terrains inférieurs que par des espèces ou par quelques genres éloignés les uns des autres. La roche dominante dans ce terrain est le calcaire plus ou moins marneux ; des roches siliceuses s'y rencontrent aussi en assez grande abondance, soit à l'état de silex, soit à l'état de grès. Il est très-pauvre en minerais métalliques, et encore ces minerais ne s'y rencontrent jamais à l'état de filons, et rarement en veines ou amas ; ils y sont disséminés, ou en nodules, ou en lits subordonnés : tels sont les minerais de fer qui s'y trouvent à l'état de fer hydroxydé, soit compacte, soit concrétionné, soit oolithique, et le fer sulfuré ou pyrite à l'état noduleux. L'un des traits géologiques les plus remarquables de ces terrains, celui qui est en quelque sorte l'un des plus caractéristiques, est l'existence de cavernes ou cavités de diverses formes, et en particulier de dépressions, fissures ou fentes souvent remplies de minerai de fer pisolithique. Un autre caractère non moins remarquable de la plupart des roches qui composent ce terrain, c'est la présence des grains chloriteux qu'elles renferment presque toutes, surtout vers la base de la formation, de silex pyromaques ou cornés, noduleux ou en plaques, tels que les silex de la craie, ou les cherts des grès verts, etc. Du reste la physionomie du terrain crétacé, dessinée d'après ces divers caractères, n'est pas constante et uniforme dans toutes les localités. Ainsi la craie, le plus généralement définie comme une substance blanche, tendre et tachante, peut être rouge, comme dans certaines parties de

l'Angleterre, noire et fort dure, comme en Espagne, ou présenter tous les caractères extérieurs de l'ardoise, comme dans la chaîne des Pyrénées.

Le terrain crétacé forme d'immenses bassins; il semble s'être déposé au sein d'une mer contenue dans des cuvettes formées par les terrains jurassiques.

L'ensemble des couches du terrain crétacé a été diversement subdivisé ; d'après les observations les plus récentes, et en faisant concorder tous les moyens d'appréciations géognostiques, on est conduit à le subdiviser en deux groupes : celui de la craie inférieure et celui de la craie supérieure.

La craie inférieure est représentée par les étages suivants : 1° *Marnes, argiles, calcaires et sables néocomiens, dépôt ferrugineux ; calcaire d'eau douce* (terrain wealdien) ; 2° *l'argile appelée gault, les sables verts inférieurs ;* 3° *le grès et les sables verts supérieurs;* 4° *la craie tufau et la craie marneuse.*

La craie supérieure est composée : 1° *de la craie blanche proprement dite ;* 2° *du calcaire pisolithique.*

TERRAIN CRÉTACÉ INFÉRIEUR.

1. Marnes, Calcaires, Argiles et Sables néocomiens. T. Wealdien.

SYN. : Formation wealdienne et néocomienne de MM. Dufrenoy et Élie de Beaumont ; *lower green sand* (grès vert inférieur) des Anglais ; néocomien d'Alc. d'Orbigny, de la ville de Neuchâtel (Suisse); étage des grès et sables ferrugineux de beaucoup de géologues.

Comme on le voit, les assises de ce groupe sont assez nombreuses et variées puisqu'on y rencontre des marnes et des calcaires qui, assez développés en Angleterre, ont reçu le nom de calcaires de Purbeck. Ces couches marneuses et calcaires sont un produit d'eau douce, caractérisé par des coquilles et des plantes terrestres n'ayant pu vivre dans

des eaux salées. Il semble être un dépôt fluviatile ou de delta venu s'intercaler sur les bords de la mer dans les couches marines en formation. Des assises presque entièrement sableuses et ferrugineuses, et que pour cette raison on a désignées sous le nom de grès et sables ferrugineux, se développent aussi en Angleterre; dans la partie inférieure, on trouve quelquefois des gisements assez abondants de fer hydroxydé. Enfin, le terrain crétacé inférieur est représenté dans le Jura et notamment dans la Franche-Comté, le pays de Neuchâtel, le pays de Vaud, etc., sur plusieurs points du sud-est de la France et ailleurs, par des dépôts particuliers et en grande partie marneux et calcaires, que l'on a désignés sous le nom de *néocomiens*. Ces dépôts s'appuient sur les terrains jurassiques en stratification légèrement discordante, et par conséquent en couches fortement inclinées. Le calcaire en est généralement jaune et compacte. Les marnes sont souvent intercalées entre deux assises calcaires; quelques bancs de ce calcaire sont mélangés d'argile et de petits grains de limonite, en quantité suffisante pour qu'on les exploite comme minerai de fer. Les dépôts de limonite en grains et pisolithiques de la partie occidentale de la Franche-Comté paraissent appartenir à ce terrain.

L'argile wealdienne (*weald-clay* des Anglais) est une puis-

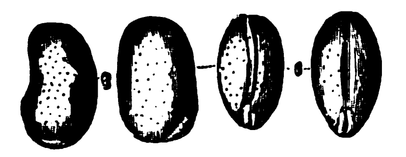






Fig. 77. — *Cypris spinigera.* Fig. 78. — *Cypris Valdensis.* Fig. 79. — Argile wealdienne avec Cypris.

sante formation argileuse ou argilo-schisteuse, comme les

couches précédentes, principalement développée en Angleterre; elle contient aussi des lits de minerais de fer terreux dont quelques-uns sont exploités. Dans sa partie inférieure, elle devient sableuse ; le phénomène se répète quand elle passe au grès vert. Elle contient des fossiles d'eau douce, par exemple des cypris (*fig.* 77, 78 et 79).

Cette formation est purement locale, et sans aucun doute il faut réunir en un seul et même terrain à la fois les marnes, les calcaires, les sables ferrugineux, les calcaires néocomiens et les argiles wealdiennes, dont les dépôts ont été synchroniques. Du reste, depuis longtemps déjà, les grès ferrugineux et les argiles wealdiennes avaient été réunis en un seul groupe, désigné sous le nom de terrain wealdien, qui comprenait, outre les deux membres ci-dessus, à sa base une sorte de calcaire compacte, fin, très-coquillier, sous forme de lumachelle, très-employé à Londres comme pierre de construction, comme pierre à paver et comme marbre : c'est le calcaire de *Purbeck*.

2. Gault et Sables verts.

Syn. : Partie de l'albien d'Alc. d'Orbigny (du département de l'Aube); glauconie sableuse ; partie de l'*upper green sand* des Anglais.

Ces sables inférieurs, l'argile du gault et les grès verts proprement dits, pourraient à la rigueur être considérés comme un seul tout arénacé, contenant une assise marneuse.

Les sables sont quartzeux, colorés en vert par le fer silicaté ou glauconie ; quelquefois ils sont agglutinés et donnent lieu à de véritables grès.

L'argile supérieure appelée gault est bleuâtre ou grisâtre,

plus ou moins rude ou dure au toucher, plus ou moins délayable.

Le terrain crétacé inférieur contient un certain nombre de fossiles assez caractéristiques (*fig.* 80 et 81).

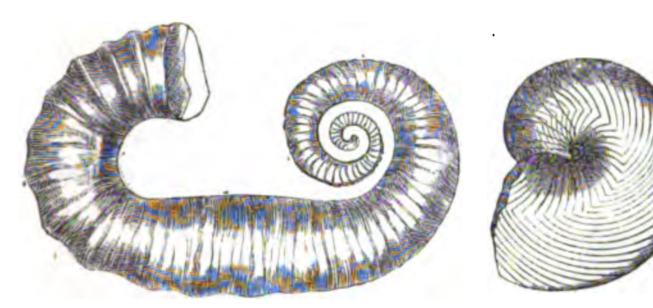
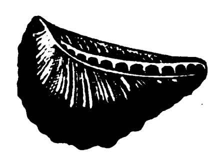


Fig. 80. — *Ancyloceras gigas*. Fig. 81. — *Nautilus plicatus*.

Ces *ancyloceras* sont considérés comme des ammonites plus ou moins déroulées ; nous verrons plus loin d'autres fossiles, les ***baculites***, qui ne sont également que des variétés du même genre redressé complétement.

On trouve encore dans ce terrain les coquilles indiquées *fig.* 82, 83 et 84.





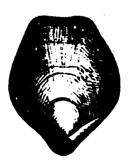


Fig. 82. — *Trigonia caudata*. Fig. 83. — *Gervillia anceps*. Fig. 84. — *Terrebratula Sella.*

3. Grès verts supérieurs.

SYN. : Partie de l'albien d'Alc. d'Orbigny ; de l'*upper green sand* des Anglais; du cenomanien d'Alc. d'Orbigny, de la ville du Mans, *cenomanum*.

Les grès verts supérieurs, comme nous l'avons dit, pour-

raient à la rigueur être compris dans le groupe précédent; mais la plus grande abondance de fossiles et quelques types distincts peuvent les en séparer; ils sont, comme les sables verts inférieurs, composés de sables et de grès plus ou moins ferrugineux et agrégés. Leur coloration, due également au silicate de fer, est verdâtre. Quelques assises présentent des grès à grains fins très-durs.

Les fossiles les plus remarquables et les plus caractéristiques des grès verts supérieurs sont l'ostræa columba et l'ostræa




Fig. 85. — *Ostræa Columba.*




Fig. 86. — *Ostræa Carinata.*

carinata (*fig.* 85 et 86), qui appartiennent également à la craie tufau et à la craie marneuse; on y trouve encore la terebratula lyra (*fig.* 87); et parmi les ammonites, l'ammonites rhotomagensis (*fig.* 88).

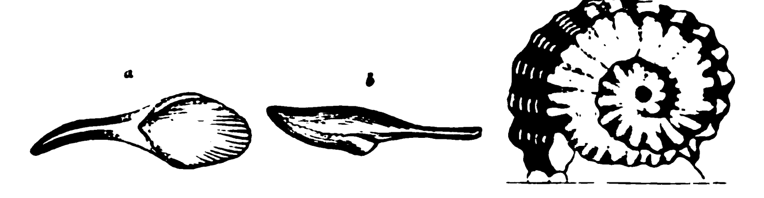


Fig. 87. — *Terebratula lyra.*

Fig. 88. — *Ammonites Rhotomagensis.*

C'est dans les grès verts que se trouvent les nappes d'eaux

jaillissantes qui alimentent les puits artésiens de Tours, Elbeuf et Paris. Nos sondages de Tours ont fait reconnaître que leur puissance pouvait atteindre 100 mètres; de la partie inférieure, les eaux jaillissantes ont amené au jour des lignites, de l'ambre, dont quelques fragments étaient aussi beaux que ceux que l'on rencontre sur les bords de la Baltique. A Kentish Town, près Londres, un sondage que nous avons exécuté, après avoir traversé les terrains tertiaires et la craie, n'a rencontré que quelques mètres de grès verts supérieurs; leur nature argileuse les liait presque intimement avec une quarantaine de mètres d'argiles de gault qui, au lieu des grès verts inférieurs, recouvraient un terrain de grès et de marnes rougeâtres. Ce terrain, assez singulier, a donné lieu à plusieurs hypothèses sur son origine, et nous ne croyons pas que les géologues anglais soient encore bien fixés sur la place qu'on doit lui assigner dans l'échelle géologique. Le bassin de Londres semble, par sa disposition, être aussi bien placé que celui de Paris pour l'obtention d'eaux artésiennes, mais cette anomalie rencontrée au premier sondage, anomalie qui peut n'être que très-locale, a fait suspendre des recherches qui seront probablement reprises dans l'avenir.

Sens. Paris. Vallée de Bray. Boulogne. Hythe. Londres. Herts.

Fig. 89. — Coupe du Hertfordshire (Angleterre), à Sens (France).

4. Craie tufau et Craie marneuse.

Syn. : Turonien d'Alc. d'Orbigny (de la Touraine); craie chloritée; glauconie crayeuse de Brongniart, craie tufau de Rouen, du Havre, de la Sarthe, etc.; le *lower chalk* ou le *chalk-marle* des Anglais.

Le quatrième étage de la formation crétacée inférieure est représenté par une sorte de roche crayeuse, d'un blanc jaunâtre, plus ou moins parsemée de grains verts qui la font passer à la craie glauconieuse à sa partie supérieure, et au sable vert inférieurement. On désigne aussi cette roche sous le nom de craie chloritée. Il est aujourd'hui reconnu que la chlorite et la glauconie sont deux substances essentiellement différentes : la première est un silicate alumineux hydraté, et la seconde un silicate de fer. Cette désignation de craie chloritée doit donc être rejetée malgré son usage fréquent.

La craie tufau est employée comme pierre de construction

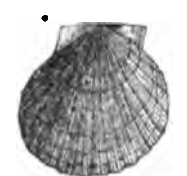


Fig. 90. — *Pecten Beaveri*, Un tiers grandeur naturelle.



Fig. 91. — *Pecten quinquecostatus*.

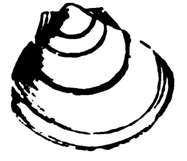


Fig. 92. — *Plagiostoma Hoperi*.



Fig. 93. — *Scaphites æqualis*.

et pour l'amendement des terres en Touraine et dans certaines

parties de la basse Normandie. Elle renferme, en beaucoup de points, des silex blonds ou cornés, et est d'une solidité variable.

Aux *ostræa columba* et *carinata*, qui caractérisent les grès verts et la craie tufau, il faut joindre un grand nombre d'autres fossiles des genres *pecten*, *plagiostome*, *scaphites* (*fig*. 90, 91, et 92), des *ammonites*, etc.

TERRAIN CRÉTACÉ SUPÉRIEUR.

1. Craie blanche.

SYN. : Sénonien d'Alc. d'Orbigny, de la ville de Sens (Yonne); terrain crétacé supérieur; terrain supercrétacé ; partie de Maëstricht.

La craie blanche peut se subdiviser en deux parties, caractérisées par l'absence ou la présence des silex.

CRAIE SANS SILEX. — Il n'existe pas de limite bien tranchée entre cet étage et celui de la craie caractérisé par l'abondance des silex. La partie supérieure, plus ou moins terreuse ou friable, en renferme encore un grand nombre, en rognons disposés en couches ou disséminés dans la masse. Ces silex deviennent successivement moins abondants à mesure que l'on s'enfonce, et disparaissent dans la partie inférieure, où la craie est assez cohérente pour être employée comme pierre à bâtir. Les fossiles distinguent à peine les deux étages, qui sont séparés l'un de l'autre plutôt par les localités qu'ils occupent que par de véritables caractères de classification géologique. La bande crétacée qui s'appuie sur le versant méridional des montagnes anciennes du centre de la France représente assez bien la craie inférieure. Les calcaires qui la composent sont souvent durs et cristallins, d'autres fois tendres et friables.

CRAIE AVEC SILEX. — La roche qui forme la base sur laquelle

reposent les terrains tertiaires parisiens offre le plus beau type de cet étage ; ses caractères sont connus de tous. Il est inutile de répéter que sa position, ses caractères lithologiques, l'abondance de certains fossiles (*fig.* 94, 95 et 96), tels surtout que les ***belemnites*** et les ***ananchytes***, la fréquence, la forme et la distribution des silex, la distinguent facilement de tous les autres systèmes crétacés qui lui sont inférieurs.

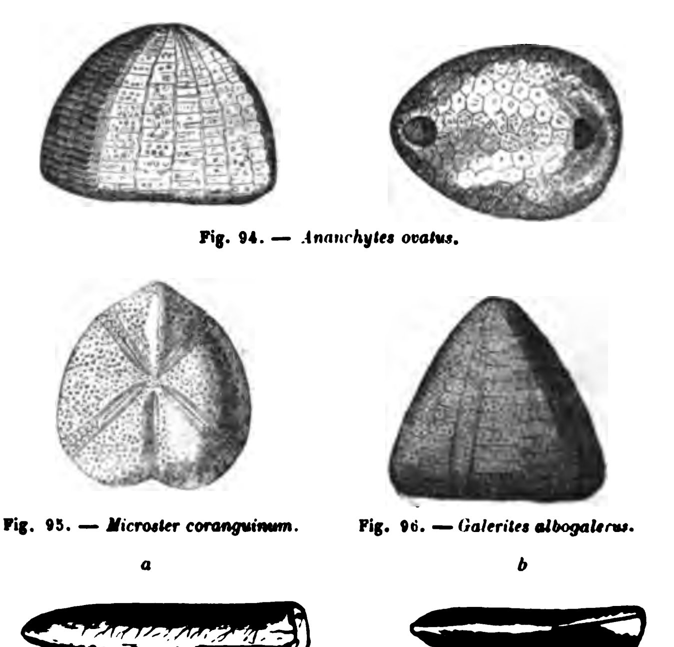


Fig. 94. — *Ananchytes ovatus.*

Fig. 95. — *Microster coranguinum.* Fig. 96. — *Galerites albogalerus.*

a b

Fig. 97. — a. *Belemnites Mucronatus.* — b. Coupe de la même.

Cette formation présente à Chartres, aux falaises de Dieppe, des lits de silex parfaitement horizontaux et espacés à peu près régulièrement.

Sur divers points de la France, surtout vers le sud-ouest et le sud-est, en Espagne, en Grèce, existent d'immenses dépôts

calcaires que l'on rapporte à la craie. Ils sont caractérisés par de nombreux *rudistes* (*fig.* 98, 99, et 100), espèces bivalves,

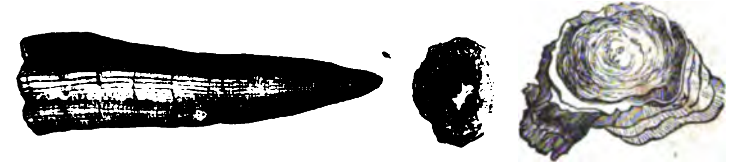


Fig. 98. — *Radiolites radiosus.*

Fig. 99. — *Radiolites foliaceus.*

parfaitement étudiées récemment par M. Bayle, professeur de paléontologie à l'École des mines de Paris.

Ces coquilles sont généralement groupées en colonies.

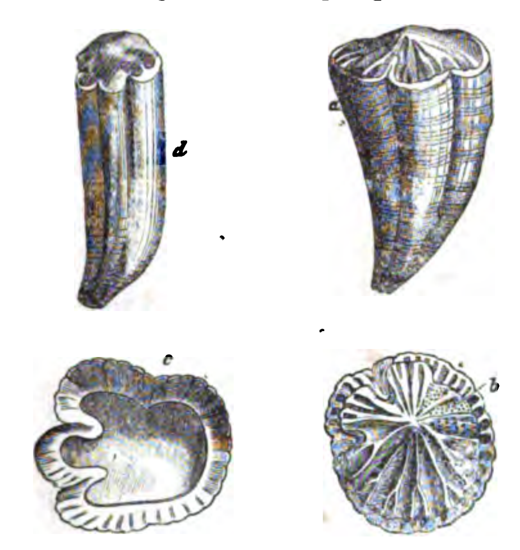


Fig. 100. — *Hyppurites organisans.* — *a.* Jeune individu, à l'état de développement complet. — *b.* Face superieure de la valve supérieure, montrant une disposition réticulee sur les points *b* où l'on a ôté la croûte extérieure. — *c.* Extrémité supérieure. — *d.* — Moule intérieur de la valve couique inférieure.

Tous les géologues ne sont pas encore d'accord sur l'âge de ces dépôts particuliers ; on les fait varier de la craie marneuse à la craie blanche.

2. Calcaire pisolithique.

Syn. : Partie du Maëstricht; Danien de Faxoë (d'une localité de Danemark); calcaire de Laversine de M. Graves ; sables de Thanet de M. Prestwich.

Entre la craie proprement dite et les terrains tertiaires, certains terrains intermédiaires se sont déposés dans quelques localités, et leur importance démontre qu'un certain laps de temps s'est écoulé entre les formations secondaire et tertiaire.

En France, près de Paris, au-dessus de la craie de Meudon, M. Charles d'Orbigny a fait connaître un dépôt calcaire, quel-

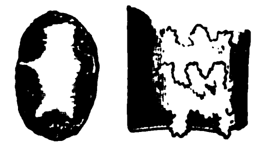


Fig. 101. — Portion du *Baculites Faujasii*: Couches de Maëstricht et de Faxoë.

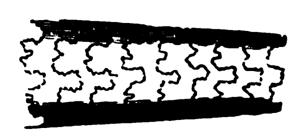


Fig. 102. — *Baculites Anceps*: Couches de Maëstricht et de Faxoë, et craie blanche.

quefois arénacé et entremêlé de marnes, auquel il a donné le nom de calcaire pisolithique parce qu'il est formé de petits



Fig. 103. — *Nautilus Danicus* (Faxoë. Danemark).

globules concentriques. Des dépôts analogues ont été décou-

verts à Faxoë, en Danemark ; et enfin on a reconnu que les calcaires de Maëstricht devaient être rapportés à cet horizon géologique.

Parmi les fossiles, beaucoup sont communs aux parties extrêmes de contact des deux grandes formations ; les plus remarquables sont représentés par les *fig.* 101, 102 et 103.

On a trouvé à Maëstricht la tête d'un immense reptile marin, *mosasaurus*, qui pouvait avoir 7 mètres de longueur, à en juger par ce fragment (*fig.* 104).

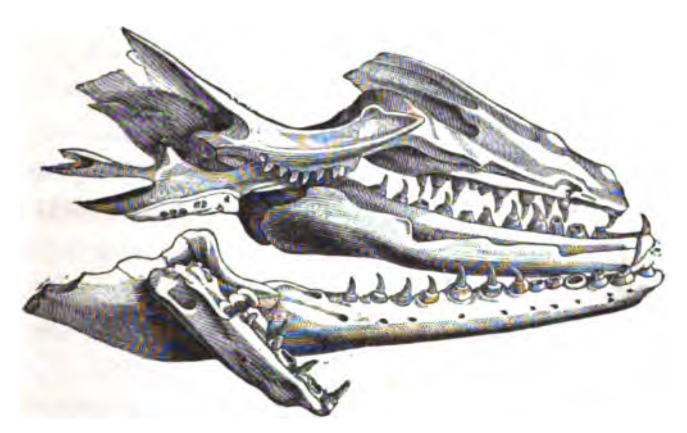


Fig. 104. — *Mosasaurus Camperi*. L'original a 1 mètre environ de longueur.

Le terrain crétacé, tel qu'il a été observé en France, y occupe dans le nord-ouest une espèce de grand bassin, ou plutôt de golfe, séparé de celui de l'Angleterre par la Manche. Il se perd du côté nord, sous les terrains tertiaires du bassin de Bruxelles ou sur les terrains primordiaux du Hainaut, et de tous les autres côtés s'appuie sur le terrain jurassique. Ce bassin, dont le grand diamètre a près de 50 myriamètres de long, est recouvert dans sa partie centrale par le bassin ter-

tiaire de Paris, autour duquel le bassin crétacé forme comme une ceinture.

Cette craie, examinée au microscope, lorsqu'elle est pure, comme la craie blanche par exemple, n'offre dans toute sa masse qu'un composé d'infusoires, quoique son épaisseur soit de plus de 500 mètres en certains points, en y comprenant la craie tufau et la craie marneuse.

Différentes circonstances, notamment la présence de quelques sommités jurassiques qui percent au milieu de la craie, annoncent que la surface interne du terrain crétacé est plus inégale que sa surface externe.

Les différentes assises de ce groupe sont, comme celles du précédent, irrégulièrement disposées dans chaque contrée; tantôt elles prennent un grand développement sur un point, tantôt elles s'amincissent et disparaissent sous un autre; c'est ainsi que dans le nord de la France, dans les départements du Pas-de-Calais, du Nord, de la Somme, etc., la partie inférieure du terrain crétacé n'est représentée que par les argiles du gault et une mince couche de marne glauconieuse, et enfin le tourtia[1] qui repose sur le terrain houiller; les grès et les sables de cet étage y manquent complétement, si l'on en excepte quelques lambeaux dans le bas Boulonnais. En général, on remarque qu'en France les différentes assises du terrain crétacé se relèvent successivement du midi au nord, de sorte que, dans sa partie méridionale, c'est la partie inférieure de ce

[1] Le nom de *tourtia* a été donné dans le Nord à une couche de terrain de transport composé d'une pâte argileuse brune renfermant des fragments roulés de la base des terrains crétacés et de débris houillers. Cette couche recouvre généralement le terrain houiller et semble être particulière à cette contrée.

groupe qui est le plus développée, tandis que, dans le Nord, la craie compacte a une grande épaisseur et constitue le sol de provinces entières, telles que la Picardie et la Champagne. Nous donnerons au chapitre des puits artésiens les délimitations de la ceinture que forme, autour du dépôt tertiaire parisien, le terrain crétacé qu'un sondage a exploré, à Paris, jusqu'à la profondeur de 547 mètres, où il a touché les sables verts contenant des eaux jaillissantes, aujourd'hui distribuées dans plusieurs quartiers de la ville. Dans le Pas-de-Calais et le Nord, de nombreux sondages ont fait reconnaître que la base reposait tantôt sur le calcaire carbonifère, tantôt sur les grès et schistes houillers. Du côté de Tours, Saumur et Châtellerault, elle est assise, comme dans la Haute-Marne, sur les formations du calcaire jurassique.

Dans le département des Ardennes, le terrain crétacé repose en partie sur le kimmeridge clay et sur le calcaire à astartes, en partie sur le coral-rag et sur l'oxford clay du terrain jurassique ; la partie inférieure, celle des grès verts, offre une puissance moyenne de 70 mètres, tandis que celle de la craie proprement dite est de 250 et même 400 mètres. Dans cette partie nord-est, ce terrain crétacé atteint des hauteurs de 200 à 300 mètres au-dessus de la mer, tandis que, dans l'Ouest et le Midi, les altitudes sont beaucoup moins sensibles.

Un fait assez remarquable se présente à Rouen : tandis que d'un côté de la Seine, à la côte Sainte-Catherine, le terrain crétacé s'élève à cent et quelques mètres au-dessus du niveau de la mer, sans descendre beaucoup au-dessous de ce niveau, de l'autre côté, à Saint-Sever, il s'enfonce dans le sol jusqu'à 150 mètres. Il y a donc là une rupture brusque, et notre sondage de Sotteville, placé dans l'intervalle de ces points si rap-

prochés, n'a rencontré que les argiles très-puissantes du kimmeridge, placées là à un niveau assez élevé pour boucher, très-heureusement pour le succès des puits artésiens, cette fissure de la cuvette crétacée.

En Suisse et en Savoie, dans le canton de Berne, à Entrevernes, etc., on remarque des gisements d'une houille qui a souvent tous les caractères minéralogiques et de combustibilité de celle du terrain houiller proprement dit. Le gisement de lignite dans les grès verts de l'île d'Aix, dans le sud-ouest de la France, est un fait anomal dans le terrain crétacé.

La craie, ou plutôt le terrain crétacé, livre différents produits à l'exploitation : les pierres à bâtir, le minerai de fer que l'on utilise dans le département des Ardennes, l'ocre des sables de la Sologne, etc. La craie blanche de Meudon est mélangée avec de l'argile plastique que l'on trouve aussi dans la même localité, et donne, par les excellents procédés de M. Vicat, de bonne chaux hydraulique et des pouzzolanes artificielles.

Les terrains crétacés offrent à l'aspect des sols excessivement variés ; toute la partie inférieure produit de bonnes terres arables ; mais la craie blanche repousse toute culture un peu riche ; elle est sèche, aride, et l'on sait le surnom qu'elle a fait donner à une partie de la Champagne. Le plâtre semé à sa surface produit, dit-on, une amélioration sensible.

TERRAIN TERTIAIRE.

Le terrain tertiaire se rapporte à l'une des périodes géologiques, dont l'histoire, étant la mieux connue, la rend plus facile à décrire. En effet, cette période a précédé immédiatement les temps actuels ; les phénomènes qui ont présidé à la

formation des dépôts qui la représentent ont avec ceux qui se passent encore aujourd'hui sous nos yeux toute l'analogie qui lie entre eux des événements successifs et à peine interrompus. Ces phénomènes sont donc faciles à comprendre, et la description en est simple, car elle se déduit en partie de l'histoire des causes actuelles.— Aussi voyons-nous souvent les plus grandes ressemblances de structure et de composition entre les couches tertiaires et les dépôts modernes, et si ce n'était l'inclinaison ou la direction de ces couches et surtout leurs caractères organiques, qui, ici plus que dans tous les autres terrains, fournissent d'abondants et utiles secours, on aurait souvent peine à distinguer les unes des autres.

La période pendant laquelle les terrains tertiaires se sont déposés a été longue, si l'on en juge par l'épaisseur des formations, ou mieux encore, par la lenteur qu'elles ont dû mettre à se produire; car, nous le répétons, la forme de la surface du globe, pendant l'époque tertiaire se rapprochait sensiblement de celle de l'époque actuelle, où les forces modificatrices et génératrices sont évidemment moins puissantes que dans les temps antérieurs. En présence d'une si longue période, régulièrement continue, et pendant laquelle les révolutions intérieures, la plupart moins fréquentes et en même temps moins énergiques, agissaient à peine sur la succession des dépôts et sur les changements de condition des êtres animés contemporains, il est facile de prévoir la difficulté que présenteront les subdivisions et la classification. Cette difficulté s'accroît encore par la fréquente disposition du terrain tertiaire en bassins isolés et indépendants les uns des autres, de sorte que, si même on trouve dans ces bassins des dépôts analogues, la simultanéité de ces dépôts ne peut être que présumée.

Les débris organiques, qui ont déjà avantageusement servi pour caractériser le groupe des terrains tertiaires dans leur ensemble, serviront plus utilement encore à en caractériser les divisions. Les degrés d'analogie que présentent ces êtres organiques avec ceux qui peuplent aujourd'hui nos mers, ou habitent à la surface des terres, ont fourni les points de départ d'après lesquels on a cru d'abord pouvoir diviser tous ces terrains en trois groupes : *inférieur ou éocène*, *moyen ou miocène* et *supérieur ou pliocène*. Nous citerons ici, d'après M. Deshayes, les principales localités où chacune de ces divisions se trouve représentée, et les nombres des fossiles *analogues* ou *identiques* aux êtres actuellement vivants qui se rapportent à chacun des groupes.

« *Le groupe inférieur* comprendrait une grande partie des dépôts tertiaires des environs de Paris, ceux de Londres et de Bruxelles, ceux de Valognes, ceux de l'île de Wight, en Angleterre, une petite partie de ceux de la Gironde, la plus grande partie des dépôts du Vicentin, etc. Sur environ 1,400 espèces de coquilles que l'on a trouvées jusqu'ici dans ces divers dépôts, il y en a 38, ou à peu près 3 pour 100, qui ont actuellement leurs analogues ; sur ce nombre, 12 appartiennent exclusivement à ce groupe ; 42 espèces se retrouvent dans les formations postérieures. Les 38 analogues actuelles sont réparties dans toutes les latitudes ; le plus grand nombre appartient cependant aux régions intertropicales.

« *Le groupe moyen* se composerait des assises supérieures du bassin parisien (grès de Fontainebleau et meulières supérieures), des dépôts arénacés très-coquilliers, connus sous le nom de *faluns* de la Touraine et de la Loire ; d'une partie du bassin de la Gironde, de celui de Dax, de l'Autriche, de la Hon-

grie, de la Pologne et d'une très-petite partie des collines tertiaires subapennines, c'est-à-dire les environs de Turin. Sur 900 espèces trouvées dans ces divers dépôts, 161, c'est-à-dire 18 pour 100, ont leurs analogues vivants; 173 ont continué de vivre dans le groupe postérieur. Les analogues vivants se trouvent dans toutes les latitudes, mais encore préférablement entre les tropiques.

« *Le groupe supérieur* comprendrait les collines subapennines, les dépôts tertiaires de Sicile, ceux de la Morée, le petit bassin de Perpignan, le crag de l'Angleterre, le sable des Landes, les alluvions anciennes de la Bresse, les tufs à ossements de l'Auvergne, etc. Sur 700 espèces signalées, plus de la moitié ont leurs analogues vivants, et ces analogues existent précisément dans les mers voisines des dépôts où ils se trouvent. »

Les caractères lithologiques de chacun de ces groupes sont difficiles à préciser. En général, ce sont des dépôts plastiques, des poudingues, grès, sables, argiles, des calcaires plus ou moins grossiers, et l'ensemble de la formation indique assez bien un dépôt de transport ou de sédimentation peu tranquille, à l'exception toutefois des travertins siliceux ou calcaires, qui dominent surtout dans les groupes supérieurs, et de quelques autres substances que nous citerons bientôt. La disposition de ces terrains est en général régulière, la stratification bien prononcée, les couches peu inclinées. Les substances minérales accidentelles que l'on y rencontre sont des silex de diverses variétés, du gypse, dont l'existence est assez constante dans les terrains tertiaires de tous les pays, du sel gemme beaucoup plus rare, de la strontiane sulfatée, du fer pyriteux de la variété que l'on nomme *sperkise*, et, dans quelques endroits, des lits de combustibles qui appartiennent constamment aux lignites.

Le terrain tertiaire ne forme que des collines, des monticules et des plateaux peu élevés, dont le plus haut niveau ne paraît pas dépasser 900 mètres, dans ce qu'on peut nommer sa position normale. Les pentes de ces collines sont généralement douces, et, quand elles présentent des terrasses ou des escarpements, elles ont peu de hauteur.

L'étude des terrains tertiaires est peut-être celle qui nous intéresse le plus vivement, parmi tous les terrains stratifiés. En effet, ils sont universellement répandus sur la surface du globe, et occupent les divisions supérieures de la série sédimentaire; ce sont ceux que nous foulons presque immédiatement sous nos pieds, sur une grande étendue de la France; enfin, c'est au sein des couches qui les composent, à peu de profondeur, que nous allons la plupart du temps chercher par des moyens faciles, par les sondages en particulier, un grand nombre de substances qui servent aux besoins des arts, de l'agriculture et de l'industrie. Il est donc utile d'étudier ces terrains jusque dans leurs moindres détails, et, pour l'expliquer par un exemple qui résume toutes nos connaissances à ce sujet, nous décrirons en particulier le bassin parisien, type classique des terrains tertiaires, en nous rappelant toutefois que ce bassin n'est pas le terrain tertiaire tout entier, mais qu'il en représente seulement le groupe inférieur et une partie du groupe moyen.

Le bassin de Paris, nonobstant les restrictions qui précèdent, offre le groupe le plus complet du terrain tertiaire. Les divisions qu'on en a faites ne se trouvent pas réunies, plusieurs y manquent souvent; on ne rencontre dans les vallées aucune des couches supérieures, mais les couches inférieures y atteignent quelquefois une grande épaisseur; en se prolongeant, elles reposent et affleurent sur la craie, dans la dépres-

sion de laquelle sont déposés les terrains parisiens qui nous occupent. Ceux-ci peuvent avoir, dans leur plus grand développement, environ 300 mètres de puissance; mais jusqu'à présent nous ne leur avons reconnu, dans nos sondages, qu'une épaisseur de 60 à 185 mètres, et cela parce que leurs couches ne se trouvent pas toutes réunies sur un même point, ou que, lorsqu'elles le sont, ces différentes couches n'ont pas toute leur puissance ordinaire; quelques-unes d'entre elles sont réduites à quelques centimètres.

Ces différentes assises des terrains tertiaires se superposent ainsi qu'il suit, en allant toujours de bas en haut.

TERRAIN ÉOCÈNE OU INFÉRIEUR.

Sables et marnes lacustres, Tuf.

SYN. : Formation d'eau douce inférieure; partie du terrain éocène inférieur de M. Lyell, etc.

Les sables et marnes lacustres, ou d'eau douce, qui se déposèrent sur les terrains crétacés, empruntèrent leurs éléments aux dernières couches de ces terrains; mais leur dépôt eut lieu dans des eaux douces, comme l'attestent l'absence de coquilles

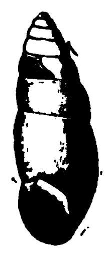


Fig. 105. — *Bulimus ellipticus.*



Fig. 106. — *Helix occlusa.*

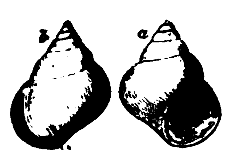


Fig. 107. — *Paludina orbicularis.*

marines et la présence de bulimes (*fig.* 105), de physes, de palu-

dines (*fig.* 107), et d'hélices (*fig.* 106), coquilles essentiellement fluviatiles.

Ces coquilles fossiles se trouvent dans les marnes, rarement dans les sables qui sont souvent blancs et d'une pureté telle qu'ils sont exploités dans certaines localités pour la fabrication du verre et des glaces. Vers la base ces sables perdent de leur pureté, sont souvent ferrugineux et agglutinés, de manière à former de véritables grès.

Argile plastique avec sable et lignites.

SYN. : Partie du suessonien (de la ville de Soissons, Aisne), d'Alc. d'Orbigny; argile plastique des terrains inférieurs de MM. Dufrenoy et Élie de Beaumont.

Au-dessus des marnes et sables qui précèdent, se déposèrent des alternances sableuses et argileuses d'un caractère fluvio-marin très-prononcé. Nous prendrons pour type de ce terrain celui des environs de Paris, tout en observant que les dépôts de cette époque géologique, répartis sur une grande partie de la surface des continents, varient de nature minéralogique, selon les éléments des divers matériaux auxquels ils doivent leur existence. Ainsi, les masses de roches d'une contrée correspondent à des masses de glaises ou d'argiles dans une autre; celles-ci sont représentées dans une troisième par un seul dépôt sableux, etc. C'est avec le secours de la conchyliologie et de la paléontologie que les géologues rapportent à la même époque tous les dépôts divers dont il est question.

L'argile plastique est assez pure à sa base; son nom indique suffisamment que, suivant ses différents états de pureté, elle peut être employée à la fabrication de poteries plus ou moins fines, ou de briques, etc. Tantôt elle est presque blanche, tantôt plus ou moins colorée en rouge, en brun et en jaune.

Quelquefois aussi elle est complétement noire, lorsque la matière ligniteuse est très-abondante. A sa partie supérieure, elle est souvent mélangée de sables et de lignites, quelquefois assez importants pour être exploités, ce qui a lieu notamment dans le Soissonnais. Les cendres ligniteuses servent d'excellent amendement pour les prairies. Comme ces lignites contiennent souvent beaucoup de pyrites de fer, on les traite pour la fabrication du sulfate de fer et de l'alun. Depuis quelques années déjà, on extrait des argiles un nouveau métal, l'aluminium, qui, dans peu de temps, viendra sérieusement enrichir le domaine de l'industrie.

Les fossiles sont assez communs dans les différentes couches qui forment la série des argiles plastiques; ils sont tantôt d'eaux douces, comme dans les lignites; ce sont des anodontes, des paludines (*fig.* 108 et 109), etc.; tantôt, surtout dans ces

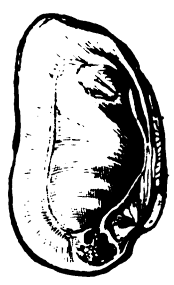




Fig. 108. — *Anodonta Cordieri.*



Fig. 109. — *Paludina Lenta.*

alternances supérieures de fausses glaises, de sables plus ou moins agglutinés, ils ont un caractère marin ou de littoral; on y remarque des *unios*, des *cérites*, des *cyrènes* (*fig.* 110), des *mélanies* (*fig.* 111), des *néritines*, etc., mélangés à des ossements de *tortues*, de *lophiodons*, etc.

La puissance de ce terrain peut être, en moyenne, de 30 ou

40 mètres ; à Paris et dans les environs, il contient, dans ses assises sableuses, des eaux abondantes que la sonde va cher-







Fig. 110. — *Cyrena cuneiformis.* Fig. 111. — *Melania inquinata.*

cher pour les amener soit à la surface du sol, lorsque l'altitude le permet, soit en contre-bas pour les besoins de l'industrie.

Sables glauconifères.

SYN. : Formation nummulitique de M. Gras ; partie inférieure du terrain éocène de M. Lyell ; sables et grès glauconieux ; sables quartzeux glauconifères de M. Ch. d'Orbigny ; suessonien (de Soissons, Aisne), d'Alc. d'Orbigny ; terrain tertiaire inférieur de MM. Dufrenoy et Élie de Beaumont.

Ce terrain présente beaucoup d'analogie avec la partie supérieure du précédent, avec lequel il se lie souvent d'une façon intime. Il est composé de sables diversement colorés, mais plus particulièrement en vert, par la présence du silicate de fer. Souvent ces sables se sont agglutinés de manière à produire des rognons de grès calcarifères, en forme de géodes ou mamelonnés.

Dans quelques endroits on rencontre, au milieu des sables, des couches d'argile, mais elles n'atteignent jamais beaucoup plus d'un mètre ou deux de puissance.

Les débris fossiles, assez nombreux, consistent en bois silicifiés provenant particulièrement de palmiers, en ossements de tortues et en coquilles marines, *nummulites* (*fig.* 112), *vénéricardes* (*fig.* 115), *nérites* (*fig.* 113), *cérites* (*fig.* 114), etc.

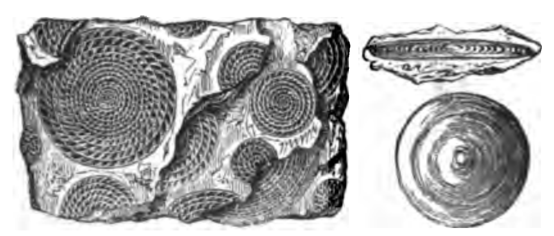


Fig. 112. — *Nummulites.*

Les nummulites sont très-variées et très-abondantes dans cette série de terrains ; elles sont répandues en Europe, en Asie, etc., et servent à désigner un horizon géologique qui

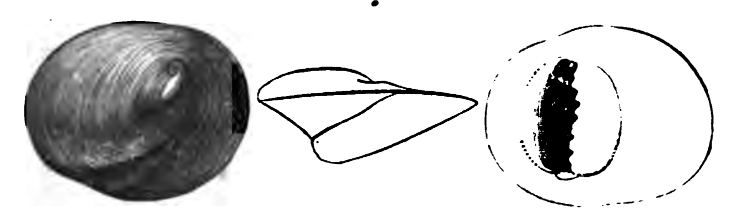


Fig. 113. — *Nerita conoidea.*

sert en quelque sorte de repère aux observations géologiques ; certaines espèces se retrouvent avec tous leurs caractères sur des points excessivement éloignés; souvent elles entrent comme parties composantes d'énormes masses calcaires, que l'on désigne sous le nom de calcaires nummulitiques. Quelques géo-

logues placent ces calcaires à l'époque crétacée; des observations approfondies tendent chaque jour à dissiper cette erreur.

Calcaire grossier.

SYN. : Calcaire grossier parisien; argile de Londres (*London-clay*); partie de l'éocène moyen de M. Lyell; partie du parisien d'Alc. d'Orbigny.

Des couches de marnes, alternant avec des lits de calcaires, des masses étendues et régulières de calcaires compactes, contenant pour la plupart une grande quantité de coquilles marines, enfin des sables et des calcaires glauconieux, qui avoisinent les sables glauconifères proprement dits, constituent ce groupe. Les coquilles sont quelquefois si nombreuses, qu'elles composent presque à elles seules la totalité de la masse; bien qu'un grand nombre d'espèces se trouvent souvent réunies dans une même couche, il en existe quelques-unes ou une seule dans une proportion telle,



Fig. 114. — *Cerithium cinctum.*

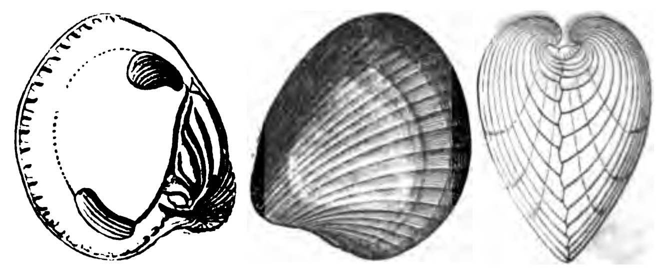


Fig. 115. — *Venericardia planicostata.*

qu'elle donne le nom à la roche. Ainsi, on a le calcaire à *cérites*, à *miliolites*, etc.

Dans les parties inférieures glauconifères, les nummulites lævigata (*fig.* 116) sont très-abondantes.

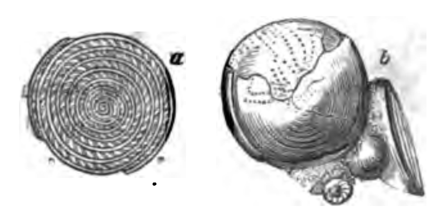


Fig. 116. — *Nummulites lævigata.*
a. Coupe en travers de la nummulite. — *b.* Groupe avec individu montrant l'extérieur de la coquille.

Ces débris fossiles de coquilles sont accompagnés de beaucoup d'autres provenant de bois, de reptiles, de poissons et de mammifères. Toutes les couches calcaires qui composent ce groupe donnent, suivant leur qualité et l'emploi qu'on veut en faire, toutes les pierres de construction que l'on utilise à Paris, et certes la présence de ce magnifique dépôt n'a pas peu contribué au développement de cette capitale.

Une grande quantité de sondages aux environs de Paris a traversé ce terrain. (*Voir* les pl. 42 et 43 des vallées de la Seine et de la Marne.) Des eaux ascendantes et jaillissantes y sourdent des sables glauconieux qui sont à la base de cette formation, comme à Claye et à Annet (Seine-et-Marne).

Sables et grès de Beauchamp.

Syn. : Sables et grès moyens ; partie du parisien d'Alc. d'Orbigny.

Les sables et grès de Beauchamp sont également des couches marines formant des bancs successifs et horizontaux de grès et de sables. On y retrouve la plupart des coquilles et autres fossiles des calcaires grossiers, mais toujours roulés, ce qui indique un dépôt pélagien. Ces grès, à ciment plus ou moins

calcaires, sont exploités pour le pavage, à Auvers (Oise) et à Beauchamp (Seine-et-Oise); ils ont été décrits avec beaucoup de soin et de détail par M. de Senarmont, auteur de la belle carte géologique de ce dernier département. On a cru pendant longtemps qu'il existait dans ce dépôt un mélange de coquilles marines et terrestres; mais des observations plus rigoureuses des espèces réputées terrestres les ont fait définitivement ranger dans la faune marine.

Travertin inférieur ou de Saint-Ouen.

SYN. : Calcaire lacustre inférieur; partie du parisien d'Alc. d'Orbigny.

Aux dépôts précédents ont succédé des marnes et des calcaires d'eau douce, qui indiquent un nouveau changement à la surface du sol, changement qui commençait à se manifester vers la fin de la période précédente, puisque les dépôts marins du calcaire grossier étaient suivis d'un dépôt littoral. Il y avait donc retrait de la mer, et, par suite, envahissement des eaux douces à sa place, lesquelles apportaient les matériaux nécessaires pour composer des calcaires et des marnes dans lesquels on trouve des coquilles d'eaux douces (*fig.* 117 et 118), des graines de chara (*fig.* 119), des ossements d'oiseaux et de mammifères.



Fig. 117. — *Planorbis evumphalus.*

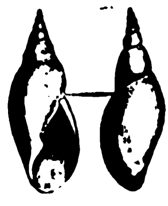


Fig. 118. — *Lymnea longiscata.*

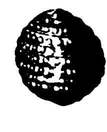


Fig. 119. — Graine de Chara.

Ces marnes, calcaires marneux, calcaires compactes et cal-

caires siliceux forment à Saint-Ouen, à Montereau, à Essonne, sur une grande partie du plateau de la Brie, etc., des masses souvent très-épaisses.

Les produits de ce groupe sont d'une importance immense pour l'agriculture et pour les arts. Les marnes sont employées à la fertilisation du sol; les calcaires de diverses qualités, dans les constructions, au macadamisage des routes et à la fabrication de la chaux.

Marnes lacustres à meulières et dépôts gypsifères.

SYN. : Partie du parisien d'Alc. d'Orbigny ; calcaire d'eau douce et meulières de M. Delbos (bassin de la Gironde); gypse de Montmartre avec ses argiles.

La formation que nous venons de décrire est recouverte par des couches nombreuses de marnes, de calcaires et d'argiles comprenant dans leur ensemble d'énormes dépôts gypsifères.

A la partie inférieure du gypse exploité, se trouvent des dépôts fluvio-marins composés de calcaires, de marnes et même de grès calcarifères renfermant des coquilles marines, telles

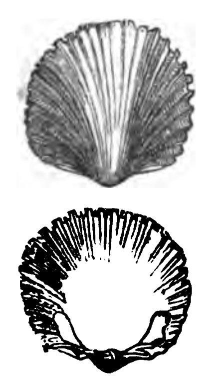


Fig. 120. — *Cardium porulosum.*



Fig. 121. — Dent de requin.

que *cérites*, *cardium*, *vénéricardes*, etc., mêlées à des coquilles

d'eaux douces, telles que paludines. On y rencontre aussi des débris d'insectes, de crustacés, de poissons (dents de squale ou requin), de reptiles (tortues).

Parmi ces dépôts inférieurs, il existe une masse gypseuse non exploitée, à cause de son peu de puissance et de la profondeur à laquelle elle se trouve au-dessous du sol. Dans des sondages à Montmartre, au pied de la colline, ces derniers gypses ont été rencontrés à 75 mètres au-dessous du sol.

Au-dessus de ces terrains, se trouve l'immense dépôt gypseux, qui forme et couronne presque toutes les collines qui avoisinent Paris et lui fournissent le plâtre qui, uni au calcaire grossier, complète les moyens de développement d'une grande ville, en lui donnant, à sa proximité, les éléments essentiels de construction.

Sur les points où la roche gypseuse est le plus développée, on compte jusqu'à trois masses distinctes, séparées par des marnes renfermant des cristaux de gypse lenticulaire présentant, par leur cassure, la disposition d'un fer de lance, des

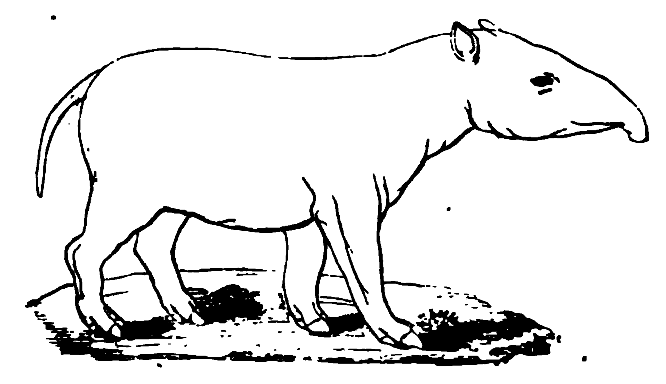


Fig. 122. — *Palæotherium magnum.*

argiles smectiques, désignées vulgairement sous le nom de

pierre à détacher, du gypse albâtre, du silex sous diverses formes, et, dans les fissures ou joints, des dentrites de manganèse.

C'est dans le gypse, que l'on trouve cette grande quantité d'animaux fossiles, que Cuvier a décrits et pour ainsi dire reconstruits par ses savantes déductions sur de simples fragments. Ces animaux, de formes différentes de ceux que nous voyons aujourd'hui, avaient une organisation identique. Il y en a qui se rapprochent de l'âne, du cheval, du rhinocéros, du lièvre, des tortues, etc.

On est encore indécis sur la manière dont les gypses se sont formés ; on hésite entre une transformation du calcaire ou carbonate de chaux en sulfate par l'action d'évaporations acides, et leur dépôt comme résultat de sources minérales. Au-dessus de la masse gypseuse la plus supérieure, désignée souvent sous le nom de hauts piliers par suite d'une lésion verticale occasionnée par des effets de retrait, se représentent de nouvelles alternances de marnes diversement colorées en vert, en jaune et quelquefois blanchâtres. Ces marnes contiennent des calcaires tantôt blancs et compactes, tantôt globulifères, et des rognons d'un grès strontianien dont les artificiers de Paris font usage pour la fabrication des feux rouges.

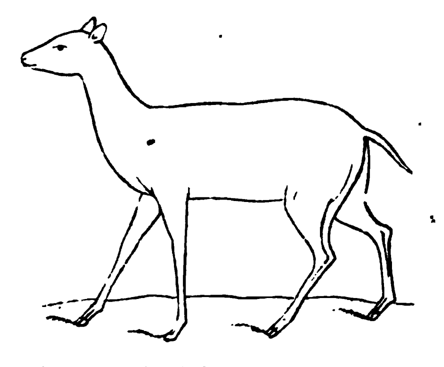


Fig. 123. — *Anoplotherium* (Cuvier). Contour restauré.

Les débris fossiles sont assez nombreux; ils consistent en restes de tortues, de poissons et de mammifères rongeurs; les mollusques sont assez généralement d'eau douce, cependant quelques couches en renferment de fluvio-marins.

Les calcaires et les marnes de ces dépôts sont employés pour fabrication de chaux hydraulique, notamment à Champigny (Seine-et-Marne).

Travertin moyen.

Enfin, le terrain éocène parisien se termine par des calcaires et meulières, formés au sein de lacs d'eau douce, que leur emploi dans les arts ont rendus célèbres. Les calcaires ont fourni les matériaux de construction du pont de l'École militaire et de l'arc de triomphe de l'Étoile. Ils sont vulgairement désignés sous le nom de marbres ou calcaires de Château-Landon (Seine-et-Marne), où on les exploite en grand. Ils sont également employés pour la fabrication de la chaux grasse. Les meulières donnent de belles pierres de construction, et les meules si renommées de la Ferté-sous-Jouarre; elles forment des bancs discontinus enveloppés dans des glaises ou argiles diversement colorées.

Les calcaires contiennent beaucoup de coquilles d'eau douce, les meulières presque point; elles sont de même nature, mais plus généralement répandues dans la masse; ce sont des *lymnées*, des *paludines*, des *planorbes;* on trouve également beaucoup de *graines de chara.*

Le travertin moyen est quelquefois désigné, ainsi que les meulières, sous le nom de calcaires et meulières de la Brie; il couronne presque tous les plateaux de cette contrée.

TERRAIN MIOCÈNE OU MOYEN.

SYN. : Tongrien d'Alc. d'Orbigny de la ville de Tongres (Belgique), grès et sables de Fontainebleau, étage des sables et grès supérieurs de M. Graves ; travertin supérieur et meulières, etc.; molasse, calcaires d'eau douce et lignites de la Provence, etc.

Le terrain miocène parisien se divise en deux groupes bien distincts : les sables et les grès de Fontainebleau, et les meulières de la Beauce.

Sables et grès de Fontainebleau, ou grès supérieur.

Dans l'ensemble des couches tertiaires que nous avons déjà parcourues, se sont présentées de puissantes assises sableuses, telles que celles des sables glauconifères sous le calcaire grossier, dont certaines parties agglutinées nous ont montré des grès que l'on pourrait désigner comme inférieurs. Plus haut, nous avons rencontré les grès et sables de Beauchamp. Ceux-ci représentent les grès moyens. Enfin nous voici arrivés à une nouvelle formation sableuse, dont les grès sont désignés sous le nom de grès supérieurs.

Ces grès et ces sables constituent le dernier dépôt marin que le retrait des eaux ait laissé dans le bassin de Paris. Ce groupe est partout reconnaissable par la couleur blanche ou jaune rouge de ses sables, ainsi que par la texture de ses grès ; ceux-ci se trouvent le plus souvent en blocs de plusieurs mètres cubes de volume, ayant leurs contours arrondis ; quelquefois les grès sont dispersés, par bancs irrégulièrement disposés, au milieu de la masse des sables et dont les surfaces ne sont pas parallèles. Ce dépôt était irrégulier lorsque les eaux, exerçant encore leur action destructive sur les continents, en entraînè-

rent les parties meubles pour laisser les grès abandonnés à leur pesanteur ; il y eut alors dislocation dans les bancs continus, qui couvrirent de leurs débris les pentes des collines et les parties des vallées voisines. La dispersion des grès donne à quelques contrées des environs de Paris l'aspect le plus pittoresque ; tels sont les mamelons de la forêt de Fontainebleau, les environs de Nemours, de Palaiseau ; à Orsay, on exploite le grès en bancs, en l'isolant du sable qui l'entoure, c'est-à-dire que l'homme procède comme le fit la nature sur une plus vaste échelle.

La partie inférieure contient plusieurs couches de marnes sableuses et de calcaires, plus ou moins compactes et grossiers, avec coquilles marines. La partie sableuse la plus ancienne semble complétement dépourvue de fossiles ; elle est souvent colorée par du fer, qui quelquefois se trouve en rognons géodiques disposés par lits. La partie supérieure, au contraire, est très-riche en coquilles marines, mais le plus souvent brisées.

Les grès et sables marins supérieurs sont l'objet d'exploitations importantes pour le pavage et la verrerie.

Travertin supérieur et meulières de la Beauce.

Cette assise est principalement composée de marnes calcaires ordinairement blanches, contenant des silex gris, rouges, blancs, tantôt compactes, tantôt criblés de pores, disséminés en rognons ou en fragments, mais formant aussi des masses compactes et continues. Dans ces deux cas, cette roche est exclusivement composée de silice ; sa texture poreuse et sa nature minéralogique la rendent très-propre aux constructions ; quoique moins bonne que celle de la Ferté-sous-Jouarre, elle est, ainsi que son nom l'indique, employée pour faire des

meules. A la base de cette formation d'eau douce, les calcaires sont plus ou moins compactes, celluleux ou bréchiformes, mais assez peu siliceux pour permettre de les transformer en chaux. Ils forment, avec les marnes qui les accompagnent, des alternances souvent assez nombreuses.

Dans beaucoup de cas, la meulière contient peu de coquilles; elles sont plus nombreuses dans les calcaires inférieurs, mais toujours fluviatiles et terrestres : ce sont des *planorbes*, des *cyclostomes*, des *potamides*, des *hélix;* on y rencontre aussi des traces de végétaux.

Les molasses et les calcaires d'eau douce avec lignites, de la Provence, font partie des terrains miocènes, et ont la plus grande analogie avec les deux terrains que nous venons de décrire. Ces lignites, exploités principalement aux environs d'Aix, donnent un combustible employé aux mêmes usages que la houille sèche et maigre.

On trouve, dans les travertins supérieurs, beaucoup de sources qui circulent dans les crevasses des marnes friables.

Les terrains miocènes comprennent encore, en dehors du bassin de Paris, des dépôts appelés *molasses*, ayant la plus grande analogie avec les grès de Fontainebleau; ces molasses se trouvent principalement dans le midi de la France, dans la Suisse, la Savoie, etc., et comprennent deux assises : l'une marine et l'autre d'eau douce.

De grands dépôts coquilliers, souvent mélangés de marnes, connus sous le nom de faluns et exploités en Touraine, dans le bassin de la Gironde, comme amendement pour les terres, appartiennent encore, au moins en partie, aux terrains miocènes.

TERRAINS PLIOCÈNES OU SUPÉRIEURS.

Syn. : Crag des Anglais ; terrain subapennin ; terrain quaternaire ; terrain des cavernes à ossements ; transport glaciaire de l'Europe, etc.

Les terrains pliocènes semblent avoir été formés, pour la plupart, dans d'immenses estuaires ou golfes, avec le concours des eaux douces et marines, et par l'envahissement des eaux lors des bouleversements qui ont eu lieu à la fin de l'époque miocène. Ce sont surtout des sables, des marnes, des cailloux roulés agglutinés, des dépôts coquilliers semblables aux faluns, et que les Anglais ont nommés *crag*, des cailloux ou blocs erratiques transportés par d'immenses glaciers, ou des dépôts laissés dans d'anciennes cavernes envahies par les eaux. Ces derniers dépôts sont remarquables par les débris fossiles que l'on y a découverts sur plusieurs points du globe ; débris d'animaux, pour la plupart de taille supérieure à celle de leurs représentants actuels, tels que : *éléphants*, *mastodontes*, *hippopotames*, etc. Les dépôts subapennins sont marins sur presque tout le littoral de la Méditerranée, et contiennent un grand nombre de coquilles encore vivantes dans cette mer. On rapporte à la même époque ces énormes dépôts alternatifs de sables, de cailloux roulés et de marnes, que l'on rencontre dans la Bresse ; ces dépôts sont d'eau douce : ils ne présentent que des coquilles fluviatiles.

Nous avons déjà cité parmi les dépôts coquilliers de cette époque, d'après M. Deshay, les faluns de la Morée et des environs de Perpignan.

TERRAIN DILUVIEN OU DILUVIUM.

Les terrains diluviens sont ces énormes dépôts de cailloux roulés et de sables qui forment le flanc des montagnes, comblent certaines vallées et couvrent quelques plateaux. Ils pénètrent quelquefois assez profondément dans le sol, mais alors ils s'y sont introduits par des crevasses ou des fissures. Ils appartiennent à cette époque de perturbation violente connue sous le nom de déluge, et sont le résultat d'érosions semblables à celles des rivières, mais avec des proportions gigantesques. M. Melleville, dans son diluvium (*Recherches auxquelles on doit donner ce nom*, etc.), s'exprime ainsi, en parlant du cataclysme qui a donné lieu à ce dépôt :

« 1° Ce phénomène a été général et unique; l'existence du « diluvium sur tous les points du globe, son peu d'épaisseur, « la constance de ses caractères minéralogiques et paléonto- « logiques, ne souffrent point d'autre explication.

« 2° Il a été violent : c'est ce que prouvent l'état des osse- « ments généralement roulés et brisés, la présence des blocs, « du gravier et des sables dans le diluvium, la position de ces « matières sur les lieux élevés et la distance où elles se trou- « vent de leur point de départ.

« 3° Il a été sans durée : car le diluvium ne renferme aucune « coquille lacustre fluviatile ou terrestre.

« 4° Il a été brusque et instantané, puisqu'on ne remarque « pas dans cette formation le mélange qui résulterait du pas- « sage insensible d'un état de choses à un autre ».

On rapporte au diluvium ces blocs erratiques que nous voyons dans nos vallées de la Loire, de la Seine, de la Vienne, etc.,

souvent à la surface du sol, d'autres fois enfouis dans le terrain diluvien. Souvent ces blocs, dont quelques-uns atteignent de 15 à 20 mètres cubes, proviennent de contrées éloignées. Cette révolution du globe, dont les terrains diluviens sont le résultat, semble avoir pour origine le soulèvement de la chaîne des Andes en Amérique qui aurait causé un grand déplacement des eaux, lesquelles, en courant sur la surface du globe, auraient entraîné et déposé tous ces cailloux roulés aux places où nous les voyons aujourd'hui, aprè les avoir arrachés aux roches qu'elles rencontraient dans leur parcours.

Le terrain diluvien est riche en minerais de différentes natures; le minerai de fer pisiforme est chez nous l'objet d'importantes exploitations; dans d'autres contrées, aux monts Ourals, par exemple, on y exploite l'or, le platine, le diamant; au Brésil, on y trouve le *corindon*, la *spinelle*, le *zircon*, la *topaze*, l'*émeraude*, le *platine*, etc.

Les fossiles que contient le terrain diluvien appartiennent à des espèces perdues et à des espèces vivantes. Ils sont abondamment répandus dans les cavernes, les fissures préexistantes dans les terrains inférieurs du dépôt, ou dans ces immenses couches que nous avons signalées comme recouvrant le fond et le flanc des vallées et s'étendant souvent jusque sur les plateaux.. Ces fossiles présentent dans leur association d'êtres si différents, réunis sur une même place, malgré leur antipathie de caractères, de singuliers phénomènes; ainsi, nous retrouverons ensemble, pour ainsi dire, le mastodonte ou éléphant ancien, le rhinocéros, l'ours, l'hyène, le tapir, avec le cheval, le taureau, le chien, etc., etc., plusieurs espèces de rongeurs, des lièvres, des rats, etc., ainsi que plusieurs espèces d'oiseaux et de mollusques, sous les climats les plus variés,

depuis l'Afrique jusque dans les glaces de la Sibérie. L'éléphant se retrouve même en Amérique où il est inconnu à l'état vivant. Il semble pourtant certain, aujourd'hui, que cet animal n'était point ignoré des habitants du Mexique bien des siècles avant l'arrivée des Espagnols, puisque, parmi les bas-reliefs de l'antique palais de Palenque, M. de Waldeck l'a retrouvé parfaitement sculpté sur cet édifice qui, comme toutes les antiquités mexicaines, rappelle si fidèlement les plus anciens monuments des Égyptiens. Bien que l'on ait donné le nom de diluvium à ce dépôt, que l'on a longtemps regardé comme ayant été causé par le déluge universel, il est généralement reconnu aujourd'hui que ce nom ne peut lui convenir, si l'on admet que le déluge dont parlent la Bible et les traditions des peuples ait englouti les hommes et les animaux. En effet, on retrouve partout des débris d'êtres perdus et d'êtres dont l'espèce s'est propagée jusqu'à nous, mais jamais on n'a retrouvé avec eux d'ossements humains. Il est donc plus rationnel de penser que les causes qui ont produit ces dépôts sont antérieures à toute époque historique; que, depuis, il est survenu un certain nombre de phénomènes semblables, mais locaux, qui ont eu l'homme pour témoin; tels sont : les déluges de Noë, d'Ogygès, etc. La géologie présente, il est vrai, beaucoup de points qui se rapportent sans difficulté avec les traditions bibliques, mais à la condition qu'on cessera de renfermer dans des limites de temps et de lieu les événements qui s'y rattachent.

Les cavernes à ossements de France, d'Angleterre, de Franconie, sont célèbres par la prodigieuse quantité de débris organiques qu'elles renferment, et qui sont une preuve incontestable de la spontanéité avec laquelle s'est opérée la révolution qui nous occupe. Il semble que, surpris et terrifiés, tous les

êtres animés qui vivaient dans le voisinage aient été subitement y chercher un refuge, sans se préoccuper des motifs instinctifs qui les font souvent se fuir.

Des végétaux de diverses espèces, aujourd'hui vivantes, se trouvent dans le diluvium à l'état de silex. L'on y remarque des chênes, des peupliers, etc., entiers ou en débris.

A la partie supérieure du diluvium, se trouve un dépôt important sur certains points : c'est un limon jaunâtre composé de marnes plus ou moins sableuses, exploité souvent comme amendement. Il contient des coquilles fluviatiles et terrestres ayant leurs analogues vivantes. Ce dépôt, d'une assez faible importance au point de vue géologique, paraît être le résultat de la précipitation des matières terreuses contenues dans les eaux qui envahirent de petits bassins, et s'y déposèrent tranquillement au retour du calme qui suivit le phénomène d'érosion dont nous venons de parler.

TERRAIN MODERNE OU POST-DILUVIEN.

Syn. : Nouveau pliocène ; terrain contemporain ; période alluviale, etc.

Ce terrain comprend tous les produits que nous voyons chaque jour se former ou s'augmenter sous nos yeux par des causes que nous pouvons suivre dans leur manière d'agir. Les phénomènes géologiques que nous voyons aujourd'hui se produire sont bien faibles, si on les compare à ceux qui les ont précédés ; cependant ils donnent une idée des moyens employés par la nature pour produire tant de terrains différents. Nous avons déjà vu les produits actuels des volcans et leur composition. Il ne nous reste donc à en parler ici que pour mémoire, dans ce qu'ils ont de direct avec l'époque moderne.

Cela se borne à l'énonciation de toutes ces scories, ces cendres vomies actuellement par le petit nombre de volcans restés en activité, au nombre desquels nous ne comptons plus, en Europe, que l'Etna, le Vésuve, Stromboli et l'Hécla. Ceci dit, nous n'avons plus, pour compléter cette courte description des terrains, qu'à passer en revue les tourbes, les dépôts formés par les sources, les différents détritus formés par différentes causes destructives, et auxquels la culture et la végétation ont donné le caractère de terre végétale proprement dite.

Les gisements de tourbe ont habituellement lieu dans des pays bas et marécageux; ils sont souvent couverts par les eaux, et, en tout cas, ont dû l'être pour leur formation. La tourbe est, comme nous le savons, une matière ligneuse brun noir formée par l'accumulation de végétaux aquatiques, qui croissent encore de nos jours; de telle façon, que l'on pourrait considérer une tourbière comme une forêt aquatique susceptible d'être exploitée et aménagée comme une forêt ordinaire. Bien que les tourbières aient des âges différents, et que quelques-unes soient antérieures à l'homme, si l'on excepte ces dernières, elles renferment souvent des débris de l'industrie humaine et même des restes humains; c'est le premier dépôt un peu ancien qui présente ce fait d'une manière incontestable.

La tourbe, comme on sait, donne un assez bon combustible, surtout lorsque l'on n'a pas besoin d'obtenir de trop hautes températures. Elle laisse comme résidus beaucoup de cendres, qui sont un excellent amendement pour les prairies.

Lorsque le sol des tourbières est recouvert par une couche plus ou moins sableuse ou limoneuse, même très-mince, il donne naissance à de riches prairies : telles sont celles de la Normandie, de la Picardie, de la Hollande, etc., etc.; si l'on

assèche convenablement un sol tourbeux, il devient très-productif, surtout en chanvre et en produits de petite culture.

Les sources déposent souvent, au moment où leurs eaux se trouvent en contact avec l'air, des tufs ou travertins. Ces dépôts se font généralement sur le bord des petites rivières dont le cours est alimenté par des sources calcaires, et à l'arrivée au jour de certaines sources thermales. Ce phénomène a pour origine l'acide carbonique provenant de la décomposition de matières organiques, ou de l'action plutonique sur les roches calcaires, qui le contenaient alors à l'état gazeux, comme la houille contient l'hydrogène carboné.

Lorsque les eaux chargées d'acide carbonique se trouvent en contact avec des roches calcaires et sous des pressions aussi fortes que celles nécessaires souvent au surgissement des sources, elles dissolvent le carbonate de chaux, qui se dépose à l'arrivée au jour et lorsque la pression vient à cesser. Ces dépôts, lorsqu'ils sont assez abondants, sont exploités pour certains travaux de maçonnerie, à cause de la légèreté qu'ils tiennent de leur grande porosité. Ce sont eux qui produisent les stalactites, les stalagmites et tous les enduits de certaines grottes. Dans certaines localités, on a mis à profit la faculté qu'ont certaines eaux de déposer des calcaires, pour la fabrication de petits objets d'art, tels que médailles, bas-reliefs, etc. Pour cela, on fait arriver lentement sur des moules en soufre ou sur tout autre objet un courant très-lent de ces eaux, qui dépose le tuf calcaire en couches plus ou moins épaisses.

Les dépôts, dans la mer, sont formés par le charriage si variable des fleuves et des rivières, et par la destruction des falaises qui bordent les côtes. Ces falaises, suivant la nature des roches qui les composent, livrent à la mer des éléments

différents dont elle fait des argiles, des sables, des cailloux roulés. Des dépôts semblables se font dans les lacs.

Certains bancs coquilliers, de nombreux récifs de corail, de madrépores, en voie lente mais continue de construction, ajoutent encore d'importantes additions aux terrains modernes, surtout dans certaines localités.

Les alluvions des vallées sont les dépôts laissés par les crues extraordinaires des rivières qui les arrosent; elles se forment aux dépens des roches encaissantes, et occupent toute la superficie contenue entre le lit ordinaire des rivières et le niveau des eaux, lors des grands débordements. Les alluvions sont, suivant les circonstances, des couches sableuses, limoneuses, ou des cailloux roulés, quelquefois d'assez gros volume.

Les éboulements sont le résultat de l'action destructive des agents atmosphériques sur toutes les roches escarpées, et qui y sont exposées; aussi sont-ils plus actifs dans les pays sujets aux gelées que partout ailleurs.

Enfin, la terre végétale est cette couche terreuse, relativement si mince, comparée aux autres dépôts, produite par le mélange des détritus de la roche qui la supporte, et de tous les débris des végétaux et des animaux qui y meurent naturellement, ou que la culture y apporte journellement sous forme d'engrais.

En terminant, nous ferons remarquer que c'est dans ces couches du terrain moderne seulement que l'on retrouve des débris de l'homme et des animaux contemporains, à l'exception d'un petit nombre de ceux qui l'ont précédé pendant les dépôts de la période tertiaire. Parmi les mollusques, un assez grand nombre ont leurs analogues dans les couches inférieures aux terrains tertiaires, et en descendant assez bas dans l'échelle

géologique; mais l'homme semble bien être le dernier produit de la création.

Les terrains tertiaires, et surtout les plus modernes, produisent les meilleurs sols connus. La végétation y puise facilement tous les principes qu'elle réclame; leur situation sur le cours des rivières, et en général dans les bas-fonds, vient encore augmenter la richesse du sol auxquels ils donnent lieu, en permettant d'y joindre l'eau, l'un des agents les plus énergiques de la culture.

Si cette description rapide des diverses couches qui composent l'écorce du globe terrestre pouvait faire naître chez nos lecteurs le désir de pénétrer plus avant dans le domaine de la géologie, voici la liste de quelques ouvrages élémentaires que nous leur désignerons comme étant ceux qui y répondent le plus complètement.

Géologie appliquée aux arts et à l'agriculture, par MM. Ch. d'Orbigny et Gente.

Géologie et minéralogie de M. Beudant.

Manuel de géologie élémentaire, par sir Ch. Lyell, traduit de l'anglais par M. Hugart.

Guide du géologue, par Ami Boué.

Géologie appliquée à la recherche des minéraux utiles, par Amédée Burat.

APPLICATION DES CONNAISSANCES GÉOGNOSTIQUES A L'EXPLOITATION DES SUBSTANCES UTILES.

CE QUE L'ON DOIT ENTENDRE PAR BASSIN GÉOLOGIQUE.

D'après l'ensemble des considérations auxquelles nous nous sommes livrés sur la nature des terrains stratifiés, sur leur

position, sur leurs rapports avec l'écorce cristalline qui leur sert de base, il est facile de concevoir, dès à présent, ce que les géologues entendent communément par *bassins*. Les inégalités qui existent à la surface du globe se réduisent aux saillies montagneuses qui la parcourent dans tous les sens, ou à des enfoncements dont l'allure ou la forme est en rapport avec celles des masses protubérantes qui les circonscrivent. Ces enfoncements sont, pour la plupart, remplis par les eaux qui recouvrent les deux tiers de la surface, et qui y forment un certain nombre de bassins *aqueux* dont l'étendue varie. Or, supposons d'immenses réservoirs plus ou moins régulièrement circonscrits, et d'une manière circulaire; supposons, en second lieu, que les sédiments, tenus en suspension au sein des eaux et qui ont été apportés par les courants, ou arrachés au sol environnant, viennent à se déposer; la forme de la couche première à laquelle ce dépôt donnera lieu suivra naturellement la direction et toutes les inflexions du fond du bassin sur lequel elle repose; remarquons que, pour la théorie, peu importe que la nature de ce fond soit représentée par telle ou telle roche, tel ou tel terrain. Toutes les couches subséquentes viendront ensuite se mouler, successivement et en plans de stratification parallèles, sur le premier plan de superposition, déterminé par la couche la plus inférieure. Après un temps plus ou moins considérable, et dont la durée pourra être calculée sur l'abondance des sédiments, et sur l'étendue et la profondeur premières de la dépression circonscrite, celle-ci aura diminué graduellement dans ses diamètres, ou même, dans certains cas, aura fini par disparaître complétement, comblée qu'elle sera par un ensemble de matières sédimentaires, disposées sous forme de couches,

dont l'étendue diminuera en raison de la hauteur, dont les tranches extrêmes viendront successivement affleurer à la surface, les plus inférieures étant en même temps les plus extérieures, et dont l'inflexion et l'inclinaison suivront celles de la dépression qu'elles remplissent, c'est-à-dire plongeront du dehors vers le centre. Tels sont les bassins géologiques, dont la forme toutefois n'est pas toujours régulière, mais qui se rapportent tous à une disposition générale à peu près semblable. Un exemple classique de la forme en *bassin,* des couches sédimentaires qui constituent le sol d'une contrée, nous est fourni par le bassin tertiaire du nord de la France, dont Paris occupe le centre. La craie lui sert de base et forme une large ceinture autour de ce bassin tertiaire, dont la ligne d'affleurement se voit à Montereau, jusqu'à la Roche-Guyon, derrière Provins, devant Sézanne, derrière Montmirail, devant Épernay, derrière Laon, au nord de Compiègne, près Beauvais et Gisors. En dedans de cette limite crayeuse presque circulaire, gisent les différentes assises tertiaires, dont les affleurements à la surface indiquent que les plus inférieures du bassin sont en même temps celles que l'on rencontre le plus extérieurement.

DES PUITS ARTÉSIENS.

Une des plus heureuses applications qui aient été faites de cette disposition des couches sédimentaires par bassin, est sans contredit celle de la théorie des eaux jaillissantes naturelles ou artificielles. Les masses minérales qui forment l'écorce solide sont fréquemment traversées par des fissures, ou composées de couches perméables dans lesquelles se meuvent de véritables courants d'eau. Ces courants souterrains ont sou-

vent la faculté de remonter et de prendre un niveau beaucoup plus élevé que celui de leur gisement dans l'intérieur des masses minérales, lorsqu'on vient à les atteindre par un puits ou par un trou de sonde. Souvent cette force d'ascension est telle, qu'ils viennent s'épancher à la surface du sol et s'élever même à de grandes hauteurs; ce phénomène constitue les *puits artésiens*.

Nous avons résumé, dans le précis placé avant ce chapitre, l'histoire et les théories de l'alimentation de ces fontaines artificielles.

Dans l'explication que nous avons donnée de l'ascension des eaux jaillissantes par les forces hydrodynamiques, en vertu desquelles les eaux tendent à se mettre de niveau dans les tubes communiquants, nous avons supposé que les couches perméables n'offraient pas d'interruption sur toute leur longueur; cette condition est évidemment absolue; mais tel n'est pas le cas dans tous les bassins géologiques : les uns ont conservé leur régularité première, les autres ont été disloqués, dénudés en partie, fracturés; et c'est ici que la géologie est appelée à fournir d'utiles renseignements, et à calculer, d'après un ensemble de considérations, les chances d'une réussite.

En résumé, ainsi que s'expriment M. Jules Burat dans son excellent travail sur les puits artésiens (1829), et M. Héricart de Thury dans les différents programmes qu'il a publiés pour les Sociétés d'encouragement et d'agriculture, les eaux artésiennes circulent généralement dans une couche perméable et entre deux couches imperméables. Cette première donnée implique nécessairement des conditions de composition. Ainsi, l'on sait que les sables sont nécessairement les terrains perméables, tandis que les argiles sont au contraire imperméables.

Donc les alternances de sable et d'argile seront les plus favorables à l'établissement des puits artésiens. Les terrains cristallins ne pourront dans aucun cas, ou ce ne sera que par hasard, donner naissance à des eaux jaillissantes.

Non-seulement la composition du sol doit guider le sondeur artésien, mais son niveau au-dessus des eaux courantes à la surface, ainsi que sa forme, doivent encore être constamment l'objet de son examen attentif. Ainsi l'on doit toujours choisir, pour une tentative de ce genre, un point peu élevé dans une plaine ou dans une vallée; car il est évident que les plateaux isolés, les crêtes qui déterminent les limites des bassins hydrographiques, sont des points où il n'y a aucune chance favorable pour obtenir des eaux jaillissantes. Les sondages peuvent cependant être tentés rationnellement sur les plateaux de formation, lorsque l'on ne se propose que d'obtenir des eaux abondantes et intarissables. L'on devra toujours rechercher, dans les bassins géognostiques, ces espaces plus ou moins encaissés par des saillies dominantes, vers lesquelles les couches de la plaine se relèvent quelquefois de manière à présenter leur tranche. Il résulte, en effet, de cette disposition que les eaux extérieures s'infiltrant dans les couches perméables qui affleurent, en venant s'appuyer sur les coteaux de bordure, et suivant avec ces couches les inflexions du fond, sont d'autant plus susceptibles de remonter par les trous de sonde et de donner naissance à des puits artésiens, que les points d'infiltration sont plus élevés, et les points de déperdition plus éloignés. Nous nous étendrons plus au long à ce sujet dans le chapitre traitant des différentes applications de la sonde.

ASPECT GÉNÉRAL DES BASSINS GÉOLOGIQUES SECONDAIRES ET TERTIAIRES, EN PRENANT SPÉCIALEMENT POUR TYPE LE SOL DE LA FRANCE.

L'idée, naturelle et facile à comprendre, de la disposition en bassins géologiques des masses minérales stratifiées est applicable à la totalité des dépôts dans le plus grand nombre de cas et dans tous les pays. Seulement, l'étendue ou la physionomie de ces bassins varie à l'infini, suivant le temps et suivant l'espace. Dans les premiers temps géologiques, les dépressions qui existaient à la surface de la terre occupant de plus vastes étendues et ayant des profondeurs moindres, les reliefs du sol étant moins nombreux et ayant une élévation plus faible qu'à des époques postérieures, les dépôts durent se former sur de plus larges espaces, et leur disposition en bassin doit, par conséquent, nous paraître dans quelques cas assez obscure. Mais, à mesure que les temps se succédèrent, dès que les secousses violentes qui ont agité le sol à diverses reprises eurent rejeté au dehors ces masses puissantes de matières en fusion, et dessiné en tous sens, à la surface, les reliefs gigantesques qui la parcourent sur de longs intervalles, l'espace fut plus circonscrit, les eaux plus divisées, leurs abîmes approfondis; les bassins, où les sédiments se déposaient, devinrent plus nombreux, d'autant qu'ils approchaient davantage de l'époque actuelle. De là les différences générales que présentent les bassins secondaires et tertiaires. Ceux-ci sont plus nombreux, plus morcelés, plus circonscrits; ceux-là plus développés, plus continus et en nombre moindre. Si à ces caractères de disposition et de circonscription des couches nous ajoutons quelques-uns de ceux qui dérivent de leur na-

ture et de leur composition, nous pourrons nous faire une idée juste de la physionomie générale des terrains secondaires et tertiaires. Nous avons déjà effleuré cette question en faisant la description de chaque terrain en particulier; pour compléter nos connaissances sur ce sujet, il ne sera pas hors de propos de jeter un coup d'œil d'ensemble sur la disposition générale des bassins géologiques de la France.

Si l'on regarde une carte géologique de France, on ne tarde pas à apercevoir un certain nombre de nuances presque régulières, ou du moins en bandes continues, qui forment comme un large ruban, déroulé obliquement sur la partie centrale de la France, depuis les environs de Poitiers jusqu'à ceux de Metz ou un peu plus loin; ces nuances représentent les différentes assises du terrain jurassique. Nous en parlons ici avant tous les autres, car ce sont véritablement ces couches circulaires successives qui forment le trait le plus caractéristique de la physionomie des terrains stratifiés dans notre pays. Abstraction faite des irrégularités de courbure de ces bandes jurassiques, et des prolongements ou appendices qu'elles projettent accidentellement dans différentes directions, il est aisé de voir, comme l'ont judicieusement observé les savants auteurs de la carte géologique de France, que ces bandes forment deux espèces de boucles qui dessinent sur la surface de ce vaste pays une figure qui approche de celle d'un ≍, placé sur le côté, c'est-à-dire dont les boucles regardent au nord et au sud. Ces deux boucles, supérieure et inférieure, présentent une opposition complète dans la manière dont les couches jurassiques y sont disposées, relativement aux masses qui occupent les deux espaces qu'elles entourent. En effet, la boucle méridionale circonscrit un massif proéminent formé principa-

lement de terrain granitique; elle est moins élevée que l'espace qu'elle entoure; les couches qui la composent s'appuient sur le fond du massif qui sert de centre; tel est, en un mot, le massif montagneux de la France centrale, couronné par les roches volcaniques du Cantal, du mont Dore et du Mézenc; au contraire, la boucle septentrionale, formant le contour d'un bassin dont Paris est le centre, circonscrit un espace occupé par des roches sédimentaires; elle est en grande partie plus élevée que ces couches; les assises qui la composent plongent au-dessous des masses qui forment le remplissage central du bassin. C'est ainsi que les deux parties principales du sol de la France, le plateau central et le bassin de Paris, présentent des structures diamétralement contraires. La structure de la partie méridionale se dessine sans doute par des traits plus saillants, ou du moins qui frappent bien plus au premier abord que ceux de la partie septentrionale, puisque ces traits sont les montagnes les plus élevées du centre de la France; cependant la partie septentrionale se dessine aussi avec une netteté particulière dans son côté oriental. Là, les contours jurassiques atteignent leur maximum de hauteur. Inégalement usés par les révolutions du globe, suivant leur degré de dureté, les différentes assises dont ils se composent forment comme une série de moulures concentriques les unes aux autres; elles tournent autour de Paris qui est leur centre commun.

Partout où le calcaire du Jura domine, les vallées sont rares et profondes; la forme abrupte de leurs escarpements nous montre que ces vallées sont le produit de fentes qui ont coupé le terrain sur une épaisseur considérable. Il en résulte que ces contrées, lorsqu'elles n'ont pas éprouvé de bouleversements

très-violents, présentent de vastes plateaux bordés de murs presque verticaux. Ces terrains n'offrent pas partout des plateaux aussi élevés, mais le petit nombre des vallées qui les traversent, et leur profondeur, sont des caractères qui les distinguent constamment.

Les contrées formées de terrains crétacés ont une certaine analogie avec les pays de calcaire jurassique dont nous venons de parler; mais les premiers admettent toujours, outre des vallées de déchirement, un certain nombre de vallées à formes plus douces, et creusées simplement par l'action des eaux. Les ruisseaux y sont alors beaucoup plus nombreux, et les croupes des montagnes, quoique fortement allongées, sont en général arrondies.

Enfin, les couches argileuses, si abondantes dans les terrains tertiaires, donnent souvent à ces terrains la propriété de retenir les eaux; aussi leur surface est-elle fréquemment couverte d'une quantité prodigieuse de petits étangs qui donnent au pays une physionomie particulière. Les départements d'Indre-et-Loire, de Loir-et-Cher, du Loiret, ainsi que les plaines si fertiles de la Bresse, nous offrent des exemples de cette disposition.

Nous ne pouvons indiquer un département où toutes les couches sédimentaires soient mieux dessinées que celui des Ardennes. En parcourant ce pays, depuis la frontière du département de la Marne jusqu'au delà de Charleville, avec la carte géologique de MM. Sauvage et Buvignier à la main, l'on passe successivement de la formation crétacée jusqu'aux schistes de transition, et toutes les formations du terrain secondaire se dessinent successivement sur une échelle assez vaste pour bien les étudier; la forme des mamelons et des

montagnes fait reconnaître de loin les différentes formations, et, lorsqu'on les gravit, l'on constate le pendage régulier des couches.

GISEMENTS HABITUELS DES COMBUSTIBLES FOSSILES QUI PEUVENT ÊTRE RECHERCHÉS PAR DES SONDAGES.

Anthracite. — Ce combustible minéral existe principalement, ainsi que nous l'avons vu, dans les terrains de transition, et dans la partie supérieure de ces terrains. C'est là qu'est son gisement *normal*, et si on le rencontre ailleurs dans la série des couches sédimentaires, c'est par accident, et souvent par des causes qui ont agi postérieurement à sa formation, sur le dépôt de combustible qu'il représente; tels sont, par exemple, certains lignites des terrains tertiaires qui se trouvent en contact avec les basaltes, et qui ont été transformés en anthracite, probablement par un effet dû au basalte qui, par la chaleur, aurait fait distiller le bitume du lignite et aurait amené ce dernier à la nature de l'anthracite. Les anthracites des régions alpines sont également, ainsi que l'admettent la plupart des géologues, d'après les savants travaux de M. Élie de Beaumont, d'un âge postérieur à l'époque de transition, et doivent être attribués à une formation métamorphique de dépôts charbonneux du lias. Le combustible charbonneux des terrains de transition est tantôt en petites couches, tantôt en masses, en amas, en filons, au milieu des roches arénacées les plus anciennes qu'on nomme *grauwackes*, au milieu de roches schisteuses, ou amygdaloïdes, ou fragmentaires, etc. Les terrains houillers, placés immédiatement au-dessus des terrains de transition, renferment aussi assez souvent de l'anthracite, tantôt sous

forme de nids particuliers, tantôt auprès de failles qui traversent les couches de houille.

HOUILLE. — La houille, ainsi que nous l'avons vu, se trouve toujours en masses, quelquefois en amas, le plus ordinairement en couches et rarement en filons dans les grands dépôts arénacés désignés sous le nom de *grès houillers*, au-dessus des calcaires qui commencent la période carbonifère. Le grès des dépôts houillers est souvent composé de quartz, de feldspath et de mica, ce qui lui a fait donner le nom de *granit recomposé*. Les grains qui le composent sont de grosseur variable. Quand le grès est à grains fins et le mica abondant, la roche devient schisteuse. Une autre roche, qui accompagne la houille, est une argile schisteuse peu solide, se fendillant facilement, ou friable; sa couleur est noirâtre ou bleuâtre. Elle est quelquefois imprégnée de bitume et prend le nom de schiste bitumeux, schiste inflammable, etc., exploité aujourd'hui pour la fabrication d'une huile minérale employée à l'éclairage. C'est dans ces argiles schisteuses que se trouvent le plus communément les empreintes dont nous avons parlé. C'est aussi dans cette roche que l'on rencontre le fer carbonate lithoïde si remarquable dans ces terrains. L'argile schisteuse sert souvent de toit ou de mur aux couches de houille, expressions qui désignent les surfaces qui recouvrent et supportent le gisement. Ces couches sont plus ou moins nombreuses, et vont quelquefois au-dessus de cent; dans le bassin de Mons on en compte jusqu'à cent seize. Leur épaisseur varie depuis $0^m,10$ jusqu'à $1^m,80$ dans ce bassin, mais atteint, dans d'autres localités, jusqu'à 6 et 7 mètres et au delà. L'ensemble des couches de houille dans les bassins exploités donne des totaux très-variables: ainsi le bassin belge, dans ses belles exploitations, a une épais-

seur de 40 mètres environ. En Angleterre, les couches sont plus épaisses mais moins nombreuses, leur ensemble varie de 15 à 20 mètres. Dans le bassin de la Loire, vingt-huit ou trente couches forment une épaisseur de 57 à 78 mètres.

La stratification des terrains houillers est très-prononcée. Ils présentent nettement des stratifications périodiques, c'est-à-dire que l'on observe toujours le même ordre dans la disposition des couches qui recouvrent chaque veine de houille. Ces couches sont tantôt presque horizontales, tantôt fortement inclinées à l'horizon, mais le plus souvent elles ont une forme que l'on désigne sous le nom de *fond de bateau*,

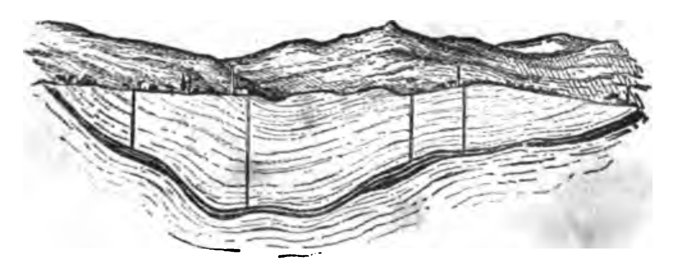


Fig. 124. — Coupe transversale de la grande couche de Rive-de-Gier.

c'est-à-dire qu'elles se relèvent également de chaque côté contre les roches auxquelles elles sont adossées. Souvent aussi les couches de houille sont irrégulières dans leur allure; ainsi dans cette localité elles se présentent sous forme de plis en zigzag; ces plis sont quelquefois tellement multipliés, qu'un même trou de sonde peut rencontrer jusqu'à quatre fois la même couche de houille. Dans d'autres endroits, la longueur ou l'étendue d'une couche sera interrompue par des failles ou brisures plus ou moins profondes.

Dans d'autres enfin, le combustible est mêlé avec des matières

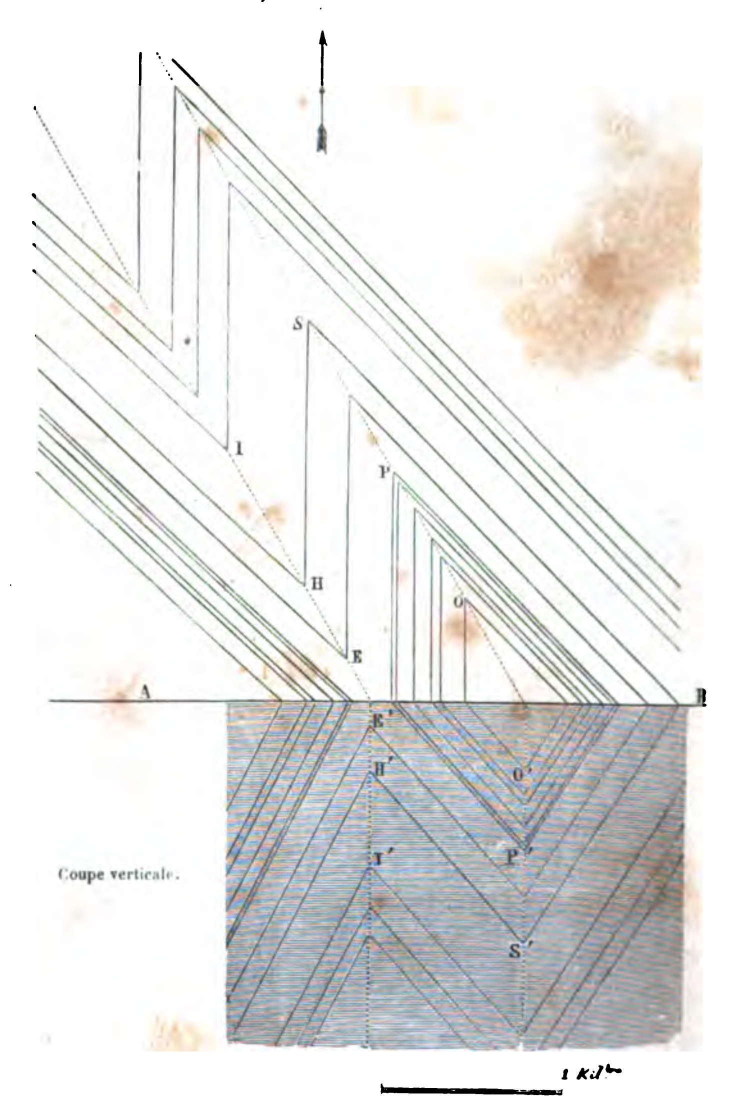


Fig. 125. — Projection horizontale d'un double pli dans le bassin de Brassac.

pierreuses qui lui servent de toit ou de lit, à tel point que l'ex-

ploitation en devient impossible : c'est ce que l'on nomme *brouillage* en terme de mineur.



Fig. 126. — Coupe transversale de la couche de Monceau, près Blanzy.

Dans le cas de la disposition en zigzag, les deux lisières schisteuses suivent les mêmes inflexions que la houille, de sorte que les couches ne cessent pas d'être parallèles entre elles. On ne peut guère expliquer ces espèces de fractures qu'en supposant que quelques parties du sol ont éprouvé un affaissement avant l'entière solidification du terrain houiller. Dans le cas de faille, accident qu'il est facile d'expliquer, la fente suivant laquelle s'est faite l'interruption des couches de houille est remplie parfois de matières étrangères, mais en général de débris du terrain ; il faut alors traverser ces fentes pour retrouver la couche du combustible qui se trouve toujours plus basse du côté où elle plonge. Il existe encore d'autres accidents, mais ils intéressent plus particulièrement le mineur.

Les couches de charbon de terre se trouvent ordinairement au pied des chaînes de montagnes primitives, dans des localités qui annoncent, par leur disposition, qu'elles furent jadis des vallées sous-marines, des golfes, des bassins, à l'époque où la contrée était encore en partie couverte par l'Océan. On voit que ces couches suivent toutes les sinuosités des terrains qui leur servent de base ; mais on n'en a jamais trouvé dans l'intérieur des montagnes.

La houille paraît s'être déposée dans toute la longueur des vallées, et souvent même dans les vallées adjacentes; en sorte que, la direction de ces vallées étant connue, on en conclut la disposition des couches de houille, qui forment presque toujours une grande quantité de bassins disposés dans la direction de la vallée principale.

Les îles Britanniques, la France, la Belgique, la Silésie et certaines parties de l'Allemagne septentrionale, sont à peu près les seules contrées européennes où le terrain houiller existe ou soit connu et exploité sur des étendues notables.

Dans ces contrées, il constitue le plus souvent des bassins isolés, qui parfois ont à peine 1 kilomètre carré de surface, et d'autres fois en ont plusieurs centaines; les plus remarquables sont, sur le continent, le bassin de Saint-Étienne dans une cavité de gneiss et de micaschiste; celui d'Aubin dans l'Aveyron, celui d'Alais dans le Gard; ceux du Creusot et de Montchanin (Saône-et-Loire); celui de Brassac (Puy-de-Dôme); de Decize (Nièvre); de Ronchamps (Haute-Saône); du Nord et du Pas-de-Calais, prolongement du bassin belge; de la Moselle, prolongement du bassin prussien de Sarrebruck; d'Essen et Verden, de Silésie, etc.

M. Amédée Burat donne un tableau approximatif des extractions de houille, d'après lequel on peut se faire une idée de la répartition du terrain houiller dans les différentes contrées où il a été jusqu'à présent observé avec ses caractères essentiels.

Ce tableau date de 1851 :

	Production annuelle.
Iles Britanniques.	40,000,000 de tonnes.
France.	5,000,000
Belgique.	5,000,000

Allemagne.	3,500,000 tonnes.
Autriche.	900,000
Espagne.	100,000

Depuis cette époque, la découverte de nouveaux gisements et le développement de l'industrie ont singulièrement modifié ces chiffres.

M. de Carnal, l'un des principaux propriétaires des exploitations prussiennes, a fait d'importantes recherches sur les richesses houillères du monde entier en voici les résultats les plus saillants :

En 1857, la quantité de charbon extraite de toutes les houillères en exploitation dans le monde entier s'élevait à 127 millions de tonnes.

Cette masse de charbon représente une valeur de 937,500,000 francs, somme bien supérieure à celle que représente l'exploitation annuelle des diamants et de tous les métaux précieux.

Le terrain houiller actuellement en exploitation représente une surface de plus de 20,000 kilomètres carrés. L'épaisseur moyenne des couches étant estimée à 9 mètres environ, si on calcule le volume de toutes les couches jusqu'ici reconnues, on arrive à un cube ayant plus de 4 lieues de côté.

En cherchant combien de fois cette montagne de charbon renferme la masse de houille consommée annuellement, on trouve qu'elle peut suffire amplement à la consommation actuelle pendant plus de trente mille années.

Les houillères anglaises produisent à elles seules près de 64 millions de tonnes par an.

Manchester et ses environs consomment la sixième partie de cette quantité pour alimenter 1,200,000 chevaux-vapeur,

qui représentent la force motrice totale des usines de ce grand centre industriel.

La fabrication du sel consomme à elle seule près d'un million de tonnes de houille par an.

Les usines à gaz en emploient plus de 10 millions de tonnes dans le même temps.

En 1858, l'Angleterre a exporté plus de 6 millions de tonnes de houille. On a calculé qu'à elle seule, elle pourrait approvisionner l'Europe entière pendant quatre mille ans.

D'après un tableau de M. Adolphe Brongniart, dans un rapport à la Société d'encouragement, on voit que l'exploitation de la houille a suivi en France une progression très-rapide, ainsi :

	Tonnes.
En 1789, la France produisait annuellement.	250,000
En 1815.	950,000
En 1830.	1,800,000
En 1843.	3,700,000

Nous trouvons dans un rapport du ministre de l'agriculture et du commerce, publié en janvier 1860, les renseignements suivants :

En 1850, la consommation totale de la houille en France avait été de 72,252,700 quintaux métriques, soit 7,225,270 tonnes.

En 1857, la consommation indigène et étrangère a été de 131,494,700 quintaux métriques, soit 13,149,470 tonnes.

Ce rapport indique que, sur soixante-deux bassins différents de combustible minéral que la France possède, plus de la

moitié, faute de moyens de transports, ne peuvent exporter leurs produits au loin.

Parmi les bassins qui occupent le premier rang, sur les 79 millions de quintaux métriques ou les 7,900,000 tonnes extraites en 1857 :

	Quintaux métriques.	Tonnes
Le bassin de la Loire a fourni. .	22,426,000, soit	2,242,600
— Valenciennes (Nord et Pas-de-Calais).	19,600,000,	1,960,000
— Alais (Gard).	7,540,000,	754,000
— Blanzy (Saône-et-Loire). . .	5,806,000,	580,600
— Commentry (Allier). . . .	4,845,000,	484,500
— Aubin (Aveyron).	4,635,000,	463,500

Onze bassins suivants produiraient chacun moins de 2 millions de quintaux métriques; le dernier ne produirait qu'un peu plus de 400,000 quintaux métriques.

Le terrain houiller n'est pas toujours disposé en forme de bassin; ainsi la masse qui occupe une partie de la Belgique, en se prolongeant d'un côté jusqu'à Aix-la-Chapelle, de l'autre jusqu'à Douai et Valenciennes, où elle apparaît sous les terrains crétacés, ne peut être considérée comme un bassin; c'est une longue bande à laquelle on a cru longtemps qu'appartenaient les houillères d'Hardinghen, dans le Boulonnais; c'est dans la prolongation de cette immense étendue de terrain houiller que se trouvent les riches mines d'Anzin, dont les puits d'extraction atteignent jusqu'à 6 ou 700 mètres, et dont les galeries ont quelquefois jusqu'à 2 kilomètres de tracé.

C'est encore à la prolongation de ce bassin qu'appartiennent toutes ces nouvelles concessions houillères qui s'étendent de

Douai jusqu'à Béthune, et de Béthune à Fléchinelle, où il semble se terminer, laissant encore entre ce point et le Boulonnais une lacune assez grande, où de nombreux sondages n'ont plus rien rencontré.

La recherche dé la houille, au moyen de la sonde, ne doit être faite que lorsque les pendages ne tendent pas à la verticalité, comme cela arrive quelquefois, sans quoi la sonde pourrait descendre à l'infini entre deux couches sans en rencontrer aucune. Nous ne nous étendrons pas davantage sur ce sujet, et renverrons à la géologie appliquée aux minéraux utiles de M. A. Burat, excellent ouvrage, où l'auteur traite de la recherche et de l'exploitation des mines.

Pour en terminer avec les gisements des combustibles fossiles, il nous reste à parler de ceux du *lignite* et de la *tourbe*.

LIGNITES. — Les différences qui existent entre le lignite et la houille nous sont connues ; on sait que le lignite présente plusieurs variétés de formes ; à chacune de ces variétés appartiennent des gisements particuliers. Le lignite terne ou brun est le seul qui constitue des dépôts un peu considérables, les autres n'existent qu'accidentellement. Il faut en excepter cependant les lignites de la Provence, aux environs d'Aix, qui se présentent avec des qualités exceptionnelles qui le rapprochent de certaines houilles. Il se rencontre ordinairement de deux manières dans le sein de la terre : ou en lits réguliers plus ou moins étendus, ou en amas interrompus qui semblent avoir rempli de vastes cavités. Dans le premier cas, il ne paraît se trouver que dans un seul terrain, le terrain tertiaire inférieur ; dans le second, il se rencontre dans des formations assez différentes, depuis les terrains houillers proprement dits jusqu'aux terrains les plus superficiels.

Au lignite en bancs continus appartiennent, par exemple, le *lignite du Soissonnais*, que nous avons vu placé dans les parties inférieures du terrain tertiaire, au voisinage des argiles plastiques; les lignites de la molasse suisse; de Lobsann, en Alsace ; de l'île de Shepey, à l'embouchure de la Tamise, etc. Le lignite en amas épars et en fragments, que l'on peut considérer comme roche subordonnée, a reçu le nom de lignite de l'île d'Aix (Charente), lieu où on le remarque le plus distinctement. On le rencontre dans le terrain houiller ancien, dans le calcaire jurassique, dans les terrains crétacés, tertiaires, et jusque dans les terrains modernes.

On sait que l'on emploie fréquemment les lignites en agriculture, et surtout dans les départements du Nord, où ils sont connus sous le nom de *cendres noires*. On les répand en petite quantité sur les terres et surtout sur les prairies, soit au moment où on vient de les extraire, soit après les avoir laissés assez longtemps exposés à l'air, où ils subissent une combustion plus ou moins parfaite. Dans le département du Nord, où le plâtre n'existe pas, on en prépare artificiellement pour amender les prairies, en faisant un mélange de ces lignites pyriteux et de chaux vive. Enfin on se sert des lignites chargés de pyrites pour obtenir de l'alun et du sulfate de fer, par l'action de l'oxygène de l'air qui change le sulfure en sulfate, dont une partie réagit alors sur l'alumine pour former ainsi des sulfates de fer et d'alumine.

Tourbe. — La tourbe se forme dans des dépôts d'eaux, à peu près mais non totalement stagnantes; un fond sableux et un léger courant favorisent sa production. Il paraît qu'elle se forme plus abondamment dans les pays du Nord que dans ceux du Midi. On la rencontre à toutes les hauteurs, et elle se forme

aussi bien sur les hautes montagnes que dans les plus basses vallées. Elle est généralement superficielle ou à peu de profondeur, et appartient exclusivement, comme nous l'avons vu, aux terrains d'alluvion; elle se forme même de nos jours en assez grande quantité. On en trouve souvent de grandes masses dont la formation a été interrompue par un desséchement plus ou moins long, et qui sont alors coupées par un banc de terre végétale. D'autres ont éprouvé les effets des grandes alluvions qui les ont, à diverses reprises, couvertes de sable, d'argile, et ont, par conséquent, formé des bancs variables de composition. D'autres fois enfin, la formation de la tourbe a été continue dans toute sa masse. Il paraît que la tourbe se régénère dans les fosses d'où on l'a extraite, mais on n'est pas d'accord sur le temps nécessaire à sa reproduction.

SEL GEMME ET SOURCES SALÉES.

Les gisements réunis de sel gemme et de gypse se rencontrent parfois dans les terrains tertiaires; les célèbres mines de Wieliska, en Pologne, sont dans cette formation. En Algérie, des montagnes tertiaires renferment des couches de sel et de gypse, qui fournissent la presque totalité du sel consommé par les Arabes. Dans le sondage que nous avons exécuté à Haguenau (Bas-Rhin), c'est aussi dans le terrain tertiaire, de 200 à 290 mètres, que se sont rencontrées des eaux salées qui ont remonté jusqu'au sol; d'autres fois le sel gemme existe dans la craie, comme en Catalogne.

Dans les Carpathes, les masses de sel se rencontrent dans l'oolithe supérieure; mais leur gisement principal est à la base des marnes irisées ou keuper, et toujours en descendant jus-

qu'au zeichstein; ainsi, en Allemagne, on les exploite dans la formation du muschelkalk; en Angleterre, c'est dans le calcaire magnésien.

Les départements de l'est de la France renferment des gisements considérables de sel gemme exploités en roche à Dieuze et à Vic; les premières couches se trouvent à 57 et 67 mètres du sol; douze couches successives, séparées par le salzthon (terre ou pierre salée), ont été traversées; plusieurs ont 10 et 14 mètres de puissance; à Montmorot, les premiers gisements se rencontrent avant 100 mètres, et présentent une grande épaisseur. Aux environs de Nancy, à Art-sur-Meurthe et à Varangéville, les premiers dépôts de sel pur se trouvent à une profondeur de 94 à 123 mètres. Un sondage fait à Varangéville a traversé onze couches, de $95^m,14$ à $154^m,19$: la première a 6 mètres, la seconde $3^m,76$, la troisième $3^m,81$, la quatrième $12^m,80$, la cinquième $2^m,10$, la sixième 4 mètres, la septième $2^m,88$, la huitième $3^m,20$, la neuvième 5 mètres, la dixième $1^m,55$, la onzième $5^m,81$. Le sel est très-pur et est séparé par des marnes grises salées, souvent de peu d'épaisseur.

A Salins, nous avons, après 200 mètres, traversé plusieurs couches, et nous donnerons (pl. 15 et 16) la coupe partielle d'un sondage qui a présenté l'une des plus grandes difficultés qu'un sondeur ait eu à surmonter. Il s'agissait de reprendre un forage abandonné depuis dix-huit ans, et dans lequel des outils de toute nature étaient enfouis. Après avoir d'abord relevé la colonne de tuyaux de retenue, alésé le sondage pour obtenir un plus grand diamètre et pouvoir descendre successivement plusieurs colonnes de tuyaux, nous avons dû le redresser. Il était tellement oblique, qu'à 120 mètres nous avons quitté les anciens travaux, et n'avons depuis rencontré

aucun des débris que les sondeurs précédents y avaient abandonnés. M. de Grimaldi a fait cesser ce forage à 260 mètres, après avoir traversé plusieurs couches de sel ; il laisse ainsi d'autres couches qui pourront être explorées plus tard, ce sondage, ainsi que les deux exécutés depuis, ayant des diamètres suffisants pour être encore approfondis et tubés.

Les marnes irisées ont quelquefois une très-grande puissance ; ainsi, dans le Luxembourg, MM. Roost et Biver ont fait exécuter à Cessingen, par M. Kind, un sondage de 540 mètres (pl. 29, *fig.* 3) dans lequel cette formation atteint 400 mètres. M. d'Œynhausen a fait exécuter près de Minden un sondage de près de 800 mètres.

Les ouvrages de M. A. Burat, auxquels nous avons déjà renvoyé au sujet des gisements des combustibles fossiles, offrent des détails sur ceux de sel gemme et des eaux salées, ainsi que sur leur mode d'exploitation, et nous ne croyons pouvoir mieux faire que d'engager de nouveau à recourir à ces livres, qui ont l'avantage rare de présenter les connaissances géologiques d'une manière attrayante, et de les mettre à la portée des gens du monde qui désirent s'instruire, sans prendre la peine d'étudier des éléments toujours arides.

CHAPITRE III

CONNAISSANCES NÉCESSAIRES ET DEVOIRS D'UN CONDUCTEUR DE SONDAGES.

La manœuvre de la sonde, dans un terrain solide et uniforme, ne demande que quelques heures d'observation pour être bien comprise, surtout lorsqu'il s'agit d'explorations de peu d'importance, ou de la continuation d'un travail en bonne marche. Mais il n'en est pas de même, lorsque l'application doit être faite sur une grande échelle, et que la sonde doit traverser alternativement des formations solides et des formations fluides ou éboulantes ; l'intelligence et la théorie ne suffisent plus, il faut de la pratique, avoir beaucoup vu, beaucoup observé et être doué d'une patience soigneuse et inaltérable.

Un sondeur ne doit pas se borner à être un perceur de trous; il faut qu'à la pratique des outils il joigne les connaissances théoriques indispensables pour savoir si le travail qu'il entreprend est dans les conditions nécessaires pour réaliser le but qu'on se propose, si, pendant le courant des travaux, le terrain ne se modifie pas de manière à renverser les prévisions pour lesquelles il avait été entrepris, et si la dépense à faire ne dépassera pas la valeur du résultat cherché.

Nous allons indiquer successivement les connaissances qu'il doit avoir, s'il ne veut pas rester un manœuvre routinier.

1° Il doit acquérir des notions géologiques suffisantes pour connaître la puissance probable et l'ordre de superposition des couches formant chaque grand étage de l'écorce du globe, ainsi que l'ordre, la nature et la disposition des éléments qui entrent dans leur composition ;

2° Savoir dessiner suffisamment pour faire une coupe de sondage exécuté ou en cours d'exécution, dresser un croquis d'une machine ou d'un outil à faire ;

3° Savoir prendre un nivellement et connaître assez bien le lever de plan pour se rendre compte du point où il doit opérer dans un bassin hydrographique ou minéralogique ; sans cela, pour une recherche d'eau, il pourra se placer à un niveau supérieur au point d'affleurement des formations qu'il doit traverser, et les eaux qu'il rencontrera resteront d'autant en contre-bas du sol. Si c'est un gisement minéralogique, il faut qu'il puisse se rendre compte du pendage des formations pour calculer le point où il doit forer, afin de ne pas descendre à des profondeurs infranchissables par les dépenses qu'elles occasionnent, et, en même temps, calculer une distance suffisante pour que la sonde rencontre l'affleurement devenu exploitable ;

4° Il doit avoir des notions de statique et de mécanique pour établir son équipage de sonde d'une manière rationnelle, peu dispendieuse et le modifier au besoin, suivant un emplacement gênant ou un approfondissement plus grand que celui prévu d'abord; il doit pouvoir apporter, suivant les circonstances, les modifications nécessaires pour en rectifier la première organisation. Enfin il doit savoir appliquer, comme force motrice, une machine à vapeur ou tout autre moteur aux

engins mus, dans le commencement du sondage, par bras d'hommes ; savoir bien diriger cette machine et la réparer au besoin.

Beaucoup de travaux de sondages se font à de grandes distances des localités où l'on trouve des mécaniciens ; il est donc nécessaire que le sondeur connaisse suffisamment le travail du fer et de l'acier, ainsi que les différents procédés de trempe, sans quoi il verra souvent son forgeron détruire, brûler ou détériorer les outils qu'il lui aura donnés à réparer ou seulement à affuter. Cet inconvénient est surtout à redouter lorsque le sondage a peu d'importance, et, qu'au lieu d'avoir un forgeron spécial attaché au sondage même, on se contente d'avoir recours à un maréchal de village, peu habitué aux travaux qu'on lui demande.

Un bon directeur de sondage doit, dès l'installation première des travaux, apporter tous ses soins à prévoir ce que l'avenir peut amener de circonstances heureuses ou malheureuses, dont il pourra profiter ou dont il devra se garantir. Cette première précaution, qui demande seulement un peu de temps et de réflexion, exerce souvent une grande influence sur la marche des travaux.

Un travail mal commencé a beaucoup de peine à prendre une allure régulière, et se ressent presque toujours de cette faute originelle. La chèvre, mal assise, en perdant son aplomb, entraîne avec elle un gauche qui se reporte sur toutes les pièces du treuil qui s'usent alors d'une manière irrégulière, et le mal devient encore plus grand si le mouvement est communiqué par une machine à vapeur, ainsi que cela a lieu dans les travaux d'un peu d'importance.

L'arrivée non prévue d'eaux jaillissantes, noyant ou excavant

les fondations, est encore une cause de désordre que l'on doit prévoir en plaçant le sondage de manière à ce que les eaux trouvent un écoulement facile.

Lorsque le directeur d'un sondage a une certaine latitude sur le choix de son emplacement, il ne doit pas négliger les avantages qu'il pourra recueillir de la proximité d'une route pour ses transports, d'un puits, sinon d'un ruisseau, pour l'eau nécessaire au nettoyage des outils, et d'une habitation voisine pour faciliter sa surveillance active. Cette surveillance, ayant souvent à s'exercer le jour et la nuit, doit être l'objet d'une étude particulière ; bien entendue, elle peut être suffisante tout en laissant une assez grande liberté ; mal entendue, quelque fatigante qu'elle puisse être, elle sera incomplète.

Le directeur d'un sondage doit tâcher, ainsi que ses contremaîtres, de bien discerner l'aptitude des hommes qu'ils auront à employer, de manière à répartir les différents postes de la façon la plus convenable. Le plus intelligent sera placé au frein pendant les manœuvres, et au manche pendant le battage ; le plus attentif, au vissage et au dévissage ; le plus alerte, à l'accrochage et au décrochage des tiges, etc. Le travail ainsi réparti se fait beaucoup mieux, surtout dans les contrées où la population ouvrière est peu nombreuse et où, la plupart du temps, on n'a à employer que des hommes des champs, un peu lourds au physique et au moral. Mais si, par une bonne répartition du travail, chaque homme consacre spécialement son attention et tous ses soins à un exercice unique, on obtiendra bientôt une régularité de manœuvre que l'on chercherait en vain, si chacun d'eux était obligé de diviser son temps et ses facultés entre plusieurs genres d'occupations. Le physique lui-même semble se perfectionner et se mettre d'accord avec les

machines. Ainsi, s'il s'agit de peser sur un frein, de manœuvrer des tourne-à-gauche pour le vissage et le dévissage des tiges, le jeu des muscles, l'habitude et la dextérité de la main, la régularité instinctive des mouvements, la distribution de la force, en temps et en proportion convenables, la justesse du coup d'œil, tout viendra concourir à rendre plus précis l'ensemble du travail, et à diminuer en quelque sorte la fatigue des hommes.

En admettant ces principes aujourd'hui parfaitement reconnus, et en les adoptant aussi bien pour la fabrication des outils que pour leur mise en œuvre, nous avons obtenu des résultats très-satisfaisants. Chaque ouvrier, à force de fabriquer, de réparer, de voir, d'étudier, de manœuvrer outils et machines, a acquis une habitude ou un instinct des proportions ou des formes à donner qui nous a souvent étonnés. Ils sont devenus, chacun dans leur sphère, des théoriciens pratiques qu'il est presque toujours utile de consulter; car en sondage plus qu'en toute autre industrie, on ne peut guère arriver au mieux que par la voie de l'expérience et d'une longue et persévérante pratique. Aussi, croyons-nous que, pour celui qui veut se mettre assez vivement au courant de tous les détails d'un sondage, dans le but de devenir un bon directeur de travail, le meilleur moyen est de mettre successivement la main à chacune des manœuvres qui s'y exécutent. La participation manuelle à toutes les opérations d'un sondage est essentielle pour être en état de mettre en activité une opération de ce genre dans un pays lointain où tout le personnel est à former.

Le directeur d'un sondage, souvent placé loin de toute surveillance, occupe donc un poste de confiance, et prend, par cela même, l'engagement d'honneur de se livrer sans réserve

à l'accomplissement de tous ses devoirs, de travailler comme s'il s'agissait de ses propres intérêts, de sacrifier à cela toute distraction et tout plaisir, lorsque la situation des travaux l'exige. Enfin il doit se mettre courageusement à sa besogne, non comme un agent qui accomplit mécaniquement ses devoirs dans les limites les plus restreintes, mais comme un homme sérieux qui désire assurer son avenir en se préparant à un poste plus important.

Un conducteur de sondage doit être doué d'un esprit d'observation suivi, avoir de l'ordre et de la méthode, non-seulement dans les comptes qu'il tient pour la paye des ouvriers et les dépenses accessoires du forage, la tenue d'un journal de travail et le classement des terrains ramenés par la sonde, mais il doit être encore attentif à l'état de l'outil travailleur au moment où il le descend dans le trou, l'examiner au moment où il est remonté au sol, et comparer les formes des taillants qui dans un temps égal ont fait plus d'ouvrage en se détériorant moins ; lorsqu'il travaille dans une roche continue, il ne doit laisser descendre aucun trépan sans le passer dans un calibre en fer; sans cela, en peu de temps, son sondage prendrait, par la déperdition du diamètre de l'outil, une forme conique qui diminuerait le forage. Au contraire, s'il était d'un diamètre trop fort il se trouverait pincé, et ne pourrait agir régulièrement dans le mouvement de percussion.

Le conducteur doit, après le montage de la chèvre et de son treuil, bien classer et inventorier son matériel; pendant le sondage, il doit veiller à ce que toutes ses tiges soient réemployées constamment dans le même ordre, avoir pris exactement la longueur de chacune d'elles, ainsi que le diamètre du fer, afin que, sans perdre du temps à prendre des mesures,

il sache toujours positivement la profondeur du sondage; si une rupture a lieu, il se rend de suite compte de l'endroit où est placée la portion de la sonde ou de l'outil restée dans le trou; son journal lui indique la nature du terrain où doit travailler l'outil raccrocheur, et sans aucun tâtonnement il descend l'outil convenable. Une rupture d'outil ou de tige n'est rien, lorsque le sondeur connaît bien son outillage et son trou de sonde; il répare l'accident souvent du premier coup; mais s'il tâtonne, il l'aggrave.

Nous nous sommes toujours bien trouvés d'un dessin résumant, par des croquis bien exacts, les formes et les dimensions de tous les outils employés, et d'un tableau à pièces mobiles formées de petites bandes de carton sur chacune desquelles on trace une tige. Ce tableau peut être disposé comme les cartes de plumes métalliques : les bandes de carton se glissent entre les fils qui les maintiendront en haut et en bas. Il est bien entendu que les dimensions de chaque tige sont clairement indiquées, la grosseur du pas de vis, par exemple; on peut même ajouter en observation les circonstances qu'elle peut présenter accidentellement, telles que torsion, etc... Ce tableau a l'avantage de suivre facilement toutes les modifications qu'on est quelquefois obligé d'apporter à l'ordre successif de descente des tiges; on voit qu'il suffit de faire subir à ces petites pièces mobiles les mêmes changements qu'on opère en réalité, pour avoir sur ce sujet des indications toujours précises.

Avant de commencer un forage, le conducteur se précautionne d'un casier en forme de damier, et met à chacune des cases un numéro d'ordre porté sur le journal dont nous donnerons plus loin le modèle. Chaque fois que la sonde remonte,

il examine à la base de l'outil le terrain ramené, et à chaque variation il en place un ou deux échantillons dans une des cases, en suivant l'ordre des numéros, de manière à présenter de suite, et sans examen difficile, la succession des terrains traversés. Il fera bien aussi d'inscrire sur chacun d'eux la profondeur, soit en creux, avec une pointe si la matière le permet, soit avec un crayon ou de l'encre. Si ce sont des échantillons en colonne, il mettra toujours son inscription de manière à ce qu'elle indique en même temps de quel côté est la tête ou partie supérieure.

Lorsque les couches sont peu épaisses, il ne conservera qu'un échantillon de chacune d'elles; lorsqu'elles sont puissantes il en conservera de mètre en mètre. Chaque échantillon doit se composer d'un petit parallélipipède taillé dans la pâte retirée de l'instrument, et de quelques fragments de la roche broyée; en se donnant la peine de chercher dans la boue ramenée par la soupape ou par la tarière, on en recueille toujours assez. Il est des cas où les fragments solides des terrains suffisent comme échantillons, mais, souvent aussi, on a besoin de la pâte pour la soumettre à ún essai par les acides. La boite d'échantillons, formée au fur et à mesure de l'avancement du travail, sert à contrôler le journal, et, à la fin du sondage, à établir une coupe géologique exacte.

Nous donnons ci-après le modèle du journal à tenir dans un sondage; sa tenue minutieuse et exacte, soir et matin, est indispensable, si on veut se rendre compte de ce qui a été fait. Le conducteur ou le directeur d'un forage, si observateur, si attentif qu'il soit, ne doit jamais se fier à sa mémoire. Des journaux bien tenus sont de toute nécessité pour un entrepreneur, afin d'éviter, à des distances de temps quelquefois

très-éloignées, de refaire des écoles coûteuses, lorsqu'on ne connaît pas le terrain à perforer ; ils lui servent encore à se fixer d'une manière positive sur le temps et la dépense des forages à entreprendre, et à faire, par conséquent, des traités rationnels lorsqu'il se présente de nouveaux travaux, soit dans la même localité, soit dans des terrains présentant de l'analogie avec ceux que l'on a traversés.

Le conducteur doit mentionner la rencontre des différents niveaux d'eau ; la hauteur du point du sondage au-dessus de la rivière près de laquelle il se trouve, ainsi que celle au-dessus de la mer, doivent être aussi notées en tête du journal.

Les moindres changements dans le terrain doivent être indiqués ; les points où les instruments s'arrêtent plus souvent que dans d'autres étant observés, il sait quelles difficultés on aura à vaincre pour les tubages, et à quel point les outils aléseurs ou élargisseurs devront travailler le plus longtemps.

Le chapitre des accidents doit surtout être bien détaillé ; il faut décrire le résultat de chaque outil chercheur ou raccrocheur, afin de bien approprier celui que l'on fait faire de nouveau à l'état du trou et à celui des fragments de fer qu'on y cherche ; sans précaution, sans mesures exactes des tiges, on chercherait indéfiniment un outil dans le trou de sonde sans être sûr de le toucher, et l'on aggraverait le mal au lieu d'y remédier. On doit y consigner toutes les remarques ou impressions immédiates, de manière à former un historique bien détaillé de tous les incidents qui se seront produits, soit à la descente, soit à la montée de la sonde. On comprend combien, lors des accidents, un journal bien tenu est une précieuse ressource ; à un moment donné, toutes les observa-

tions antérieures, si puériles souvent qu'elles eussent pu paraître, formeront un fil conducteur guidant et éclairant la marche des recherches; elles serviront à expliquer certains faits qui resteraient longtemps mystérieux si cette connaissance du passé ne venait en aide.

Le conducteur d'un sondage doit, outre la tenue régulière de son journal et de sa boîte d'échantillons, veiller à la bonne tenue de son matériel; lorsqu'une série d'outils ne sert plus, parce qu'un tubage a rétréci le diamètre, il doit y faire toutes les réparations pour sa remise en bon état, et la mettre à part, faire graisser les tenons des emmanchements et envelopper les pas de vis, de manière à en garantir les arêtes.

Il doit visiter de temps à autre sa chaîne-câble pour s'assurer qu'aucun maillon ne se détériore, avoir soin de la faire graisser pour la garantir de la rouille et adoucir les frottements dans les maillons, cause immédiate et active d'usure; visiter et graisser les engrenages et arbres de son treuil; remédier au jeu que les différentes pièces peuvent prendre pendant le travail, surtout après qu'un effort accidentel a eu lieu.

Par les grands froids, lors de la reprise du travail, lorsqu'il y a eu suspension de quelques heures, il doit encore avoir soin, à l'aide d'un feu assez vif, de dégourdir les pièces qui ont des efforts à supporter, et de faire marcher à vide, pendant une dizaine de minutes; les pièces métalliques à une basse température étant très-sujettes aux ruptures.

En un mot, le directeur et les contre-maîtres d'un sondage doivent s'appliquer à ce que les meilleurs procédés et les meilleures méthodes soient toujours employés, que les précautions les plus minutieuses que suggère la prudence soient toujours observées, afin d'éviter les accidents souvent si funestes.

aux hommes d'abord, et ensuite aux travaux. L'oubli, la paresse, ou la nonchalance doivent être réprimés sévèrement, comme causes de la plupart des accidents, tandis qu'une sévère et stricte observation des bonnes coutumes en réduit extrêmement le nombre et la gravité.

Les écoles d'arts et métiers fournissent des sujets propres à acquérir facilement, et en peu de temps, les connaissances nécessaires à un bon directeur de travaux. Nous n'avons eu qu'à nous louer des jeunes gens qui nous ont été adressés par l'ancien directeur de l'école d'Angers, M. Dauban. L'un d'eux, M. Ayraud, est resté pendant vingt-cinq ans dans notre maison comme principal collaborateur. Doué d'une haute intelligence, d'un grand savoir et d'une modestie véritablement exceptionnelle et exagérée, il a rendu sans bruit les services les plus signalés à l'industrie des sondages. Élève de l'un de nous, maître de l'autre, ami affectionné de tous deux, ce n'était qu'avec peine qu'il acceptait la part si méritée qui lui revenait à bon droit dans les progrès accomplis. A sa mort, en 1855, il était chargé déjà depuis longtemps de la direction supérieure de tous nos travaux, et avait acquis en géologie un coup d'œil pratique important. Il fut chargé de différentes missions en Russie, en Afrique, etc., et il les a accomplies de la manière la plus remarquable. C'est à son habileté et à sa persévérance que nous avons dû le plein et prompt succès de ces difficiles sondages entrepris dans les alluvions de Venise, et la réparation merveilleuse d'accidents survenus dans d'autres sondages à Rouen, à Londres, etc...

Sur les traces de notre regretté Ayraud marchent avec succès MM. Trouillet, qui le remplace auprès de nous depuis 1855; Mauget, chargé de nos longs et laborieux travaux de

Naples et des Deux-Siciles, Jus, actuellement en mission dans le Sahara oriental, et Berjeaut à Athènes. Parmi les plus jeunes, qui se sont déjà distingués par leur aptitude à ces travaux, MM. Dez et Baudelaire prouvent chaque jour que les écoles d'arts et métiers sont une bonne pépinière, non-seulement pour former de bons conducteurs de travaux, mais aussi des ingénieurs pratiques.

On peut aussi se procurer de bons directeurs de sondage à l'École des mines de St-Étienne, parmi les élèves libres de l'École des mines de Paris, à l'École centrale, etc.; s'ils ont une infériorité pratique sous le rapport mécanique, comparativement aux élèves des écoles d'arts et métiers, ils ont une supériorité marquée pour être employés dans les exploitations minéralogiques qui suivent les découvertes de la sonde. Eux seuls possèdent les connaissances indispensables pour mettre en activité ces importants travaux.

Parmi ces derniers nous citerons MM. Bastide, de l'École des mines de Paris, et Lippmann, de l'École centrale, qui nous donnent un concours éclairé, et prouvent qu'avec un bon esprit on peut descendre à des détails pratiques sans déroger à un savoir supérieur.

En dehors de ces directeurs, qu'une bonne éducation première a mis à même de diriger promptement des travaux, nous devons signaler aussi quelques-uns de ces hommes qui, par leur intelligence, une bonne conduite et une grande volonté, sont arrivés à suppléer victorieusement à ce qui leur manquait. Nous citerons en première ligne : M. Gault, dont les travaux ont toujours été remarquables par leur promptitude, leur bonne organisation et, partant, leur économie. Nous avons rarement rencontré un esprit plus perspicace pour réparer de suite ces

accidents assez fréquents en sondages, et modifier les outils d'une manière aussi rationnelle; M. Ribet, qui dirige actuellement nos travaux en Belgique, l'un des vétérans de notre maison, entré il y a vingt-neuf ans; il a su conquérir l'estime de toutes les compagnies de recherches près desquelles nous l'avons successivement détaché.

CHAPITRE IV

DES DIFFÉRENTES APPLICATIONS DE LA SONDE.

Des sondes d'exploration pour l'étude des terrains. — De l'enfoncement des pilotis et de la pose des pieux pour les lignes télégraphiques. — Des puits d'amarres pour les ponts suspendus. — Des sondages sous-marins pour la destruction des récifs et l'étude des ports. — Des sondages horizontaux. — Des sondages des mineurs et de la recherche des gisements minéralogiques ou métallifères. — Des puits d'aérage de mines. — Des puits absorbants pour dessèchements ou pour absorption des eaux fétides provenant d'usines. — Des puits artésiens, ou recherche des eaux souterraines et de leur application.

La sonde n'est étrangère aujourd'hui à aucun travail souterrain. Sa forme et sa composition varient suivant le but qu'on se propose ; elle est simple ou compliquée, et diffère beaucoup de ce qu'elle était lorsque son application était plus restreinte.

Nous allons indiquer dans les sections suivantes de ce chapitre les différentes applications faites jusqu'à présent, et les modifications qui en ont été la conséquence. Nous traiterons ensuite, avec détail, de l'outillage et des engins de manœuvre que nous nous bornerons à indiquer ici.

DES SONDES D'EXPLORATION.

Les sociétés d'agriculture et les personnes qui font valoir en grand leurs domaines emploient depuis quelques années avec succès de petites sondes portatives pour études de drainage, recherches des marnes, des sables, des argiles ou des pierres à bâtir.

Le génie militaire fait un usage habituel de la sonde d'exploration, avant d'asseoir des massifs énormes de maçonnerie sur un sol dont la partie inférieure lui est inconnue, ou pour déterminer la nature d'un sol destiné à un campement.

Les carriers et entrepreneurs de bâtiments s'en servent, les premiers pour connaître la puissance des bancs à exploiter, et les seconds pour s'assurer que les terrains leur offriront une base assez solide pour supporter les édifices qu'ils ont à élever.

Les ingénieurs des ponts et chaussées l'utilisent pour établir avec exactitude les cahiers des charges d'adjudication des travaux de terrassement, pour les études de chemins de fer et de canaux, pour poser les piles des ponts, ou faire des puits d'amarres à l'effet de fixer les câbles et chaînes des ponts suspendus.

Depuis dix ans, pas un édifice d'un peu d'importance ne s'est élevé dans Paris, pas un pont n'a été fait ou modifié, sans qu'à l'aide de la sonde on ait reconnu le sol jusqu'à une profondeur suffisante, pour qu'on sache avec certitude les conditions de solidité présentées par les terrains sur lesquels on élevait des constructions, soit sur les rives, soit dans le lit même de la Seine.

Elle sert aux maîtres de forges, aux fabricants de porcelaine,

aux propriétaires d'usines, pour rechercher les matériaux employés, connaître la puissance des gisements avant d'ouvrir des excavations ou de les prolonger, surtout lorsque l'eau vient créer un obstacle.

Elle sert enfin aux archéologues pour explorer un sol qui, d'après l'histoire ou la tradition, doit être riche en antiquités.

Une sonde d'exploration doit donc être construite avec solidité pour éviter les ruptures, et avec légèreté afin d'être maniable et de pouvoir se transporter à dos d'homme, d'un point à un autre.

Nous avons cherché à réunir ces deux qualités, et nous croyons y avoir réussi par le grand nombre que nous en livrons journellement en France et à l'étranger.

Nous les subdivisons en :

Sonde Palissy pour forages	de 1m.70	de profondeur.
N° 6	de 10m	id.
N° 5	de 20m	id.
N° 4	de 40 à 50m	id.

Ces sondes d'exploration, quoique simples, sont cependant, à l'exception de la sonde Palissy, composées d'outils différents pour avancer dans des terrains variables. Nous en indiquerons ci-après la composition la plus complète, en observant préalablement que l'on peut dans des terrains secs se dispenser d'acquérir les soupapes, et que, dans les terrains tourbeux, argileux ou sablonneux, les trépans sont souvent inutiles. En résumé, la composition d'une sonde est essentiellement modifiable, selon les renseignements qui nous sont fournis par les personnes qui en font l'acquisition.

Pour l'étranger, on la rend toujours plus complète que pour

la France, où l'on a la ressource de faire promptement des additions en cas de besoin. Toutes ces sondes étant construites sur des types invariables, il est toujours facile, le numéro étant connu, d'ajouter de nouveaux outils ou de prolonger le corps même de la sonde.

DE L'ENFONCEMENT DES PILOTIS AU MOYEN DE LA SONDE.

L'habitude est d'enfoncer les pilotis à l'aide d'un mouton que l'on élève au haut d'une sonnette, et que l'on abandonne dans sa chute à son propre poids. Dans quelques terrains, il faut ferrer les pieux à la base, qui se termine en pointe le plus généralement, et à la tête qui est légèrement convexe pour moins s'abîmer sous le choc du mouton. Mais quelquefois la résistance est telle qu'ils refusent de marcher et se brisent. En effet, si dans le terrain que l'on veut faire traverser aux pilotis il se trouve accidentellement, soit un caillou un peu volumineux, soit des alternances de plaquettes rocheuses plus ou moins épaisses, on comprend toute la difficulté qu'un pieux, si bien armé qu'il soit, peut éprouver. Il faut, ou qu'il brise l'obstacle, ou qu'il le déplace en s'exposant lui-même à une déviation. Dans ce cas surtout, l'emploi de la sonde est plus prompt et plus économique; nous en avons fait souvent l'expérience. Nous nous bornerons à citer l'application faite par M. Kermingan, ingénieur en chef des ponts et chaussées du département de la Dordogne.

Cet ingénieur nous adressa une coupe du terrain dans lequel il voulait enfoncer soixante pilotis (V. pl. 19, *fig.* 2). Nous lui envoyâmes les outils nécessaires. Les travaux dirigés par le conducteur des ponts et chaussées ont amené les résultats

désirés. La location de trois équipages de sondes a coûté à l'administration, en sus des frais de transport, la somme de 920 francs. Si l'on eût procédé par l'ancien système, la dépense qui en serait résultée eût été beaucoup plus considérable.

La figure 2, pl. 19, est une coupe de l'un de ces soixante sondages. Le premier tube de garantie, de $3^m.70$ de longueur, intercepte un lit de boue et de cailloux, que recouvrait un massif de béton manquant de solidité, reposant sur l'alluvion de la rivière d'Isle. Une construction solide ne pouvait être assise que sur des pilotis, dépassant lesdites alluvions et fixés dans le calcaire. La maçonnerie a été traversée au diamètre de $0^m.28$ ou $0^m.29$; on a passé le lit de sables ou de graviers à l'aide d'un second tuyau de garantie de $0^m.25$ intérieur, dans lequel on a travaillé à ce même diamètre ou à peu près, et on a foncé dans le calcaire de $0^m.50$ à $0^m.80$. Le passage fait, on retirait le second tuyau pour le remplacer par le pieu muni d'un sabot, que l'on chassait à coups de mouton jusque dans le banc résistant. Il peut arriver aussi que, dans certaines localités, les alluvions soient assez puissantes pour s'opposer par leur frottement à l'enfoncement du pieu ; il convient de s'en garantir par une colonne de gros calibre, dans laquelle on introduit le pilotis sans difficulté.

On s'est aussi servi de trous de sonde pour injecter du béton dans des massifs de pierres jetées à cru dans le lit d'un fleuve et qui menaçaient, sous le poids des maçonneries supérieures, de s'affaisser ou de se déranger, entraînant dans le mouvement les piles en construction. Cette opération a parfaitement réussi.

M. Flachat, voulant établir la télégraphie électrique de

Paris à Versailles, s'est servi de la sonde pour poser les poteaux destinés à supporter les fils conducteurs. Quatre cent soixante-seize de ces poteaux ont été placés en moins d'un mois, au moyen d'autant de sondages qui, ne désagrégeant pas le terrain, ont évité tout travail de maçonnerie. Ces sondages, de $1^m.50$ à 2 mètres de profondeur, sont revenus à 3 fr. 50 l'un, quoique plusieurs aient été faits dans la roche dure. Le même procédé a été employé sur les chemins de fer du Midi (section de Bordeaux à Bayonne). D'autres ingénieurs ont étendu ce procédé à la pose des poteaux pour signaux et soutiens de barrières à niveau. Ces exemples suffisent et dispensent, nous le croyons, d'entrer dans d'autres explications.

DES PUITS D'AMARRES POUR LES PONTS SUSPENDUS.

ET DE LA CONSOLIDATION DES PORTIQUES DESTINÉS A SUPPORTER LA PARTIE ÉLEVÉE DES CABLES-CHAINES.

Nous nous bornerons également ici, pour démontrer l'utilité de la sonde dans ces circonstances, à énoncer les applications de MM. Chalet et Surville.

Lorsque M. Chalet entreprit le beau pont de la Roche-Bernard, élevé de 40 mètres au-dessus de la Vilaine, il reconnut promptement que les gneiss, sur lesquels reposent les piles, ne pouvaient, à cause des nombreuses fissures de cette roche, être utilement creusés à la mine, et il fit faire des sondages pour y placer les amarres des câbles en fil de fer qui soutiennent le pont. Ce procédé a parfaitement justifié les prévisions de l'ingénieur.

Après l'achèvement de la passerelle de l'île Louviers, M. de Surville, craignant qu'en raison de ce que le portique, placé à

la pointe de l'île, avait à supporter sur la Seine des ponts de grandeur inégale, ne vînt à prendre un porte-à-faux, nous chargea de creuser aux quatre angles de la maçonnerie des trous d'une profondeur de quelques mètres. Ces forages terminés, il encadra son portique de forts soutiens en fer, et la consolidation fut parfaite.

SONDE SOUS-MARINE.

Souvent, près de l'entrée d'un port, il existe des récifs qui apparaissent à fleur d'eau aux marées basses, ou restent seulement couverts d'une hauteur d'eau insuffisante pour laisser passer des navires d'un tonnage plus ou moins important. Un moyen simple et peu coûteux permet de se débarrasser de ces ennemis, d'autant plus dangereux qu'ils sont invisibles.

Il suffit de faire, sur le récif que l'on veut détruire, un ou plusieurs trous de sonde jusqu'à la profondeur nécessaire, puis de les charger d'une cartouche proportionnée à la force voulue pour briser ce rocher. Ce forage s'exécute en amarrant deux bateaux entre lesquels la sonde fonctionne, ou en établissant une charpente mobile, si le mouvement des eaux rendait l'opération difficile. M. le contre-amiral Montagnez de la Roque, alors lieutenant de vaisseau, a été chargé par l'amiral Duperré de passer quelque temps dans nos ateliers pour apprendre la manœuvre de la sonde avant de se rendre à l'île Bourbon, où le gouvernement l'envoyait explorer le fond de la baie de Saint-Denis, et s'assurer, au moyen de nombreux sondages, si le fond de l'embouchure de la petite rivière de Saint-Denis était composé, jusqu'à la profondeur de 12 mètres, de cailloux charriés ou d'une masse de lave.

Cet officier supérieur a étudié, avec une patience admirable, toute la baie, et démontré qu'un bon port de sûreté pouvait être établi à l'île Bourbon, qui deviendrait un lieu de retraite dans ces parages souvent terribles.

SONDAGES HORIZONTAUX.

Les sondages horizontaux reçoivent de nombreuses applications pour la recherche des sources sur le penchant des collines, et pour l'exploration des massifs d'une exploitation de mines, dont la topographie n'a pas été continuée ou n'a été exécutée qu'imparfaitement. Il peut arriver que de vieilles galeries, voisines de celles où se trouvent les mineurs, soient pleines d'eau, et même à un niveau de plusieurs mètres au-dessus d'eux. S'ils avancent imprudemment dans le massif qui les sépare de ce réservoir, les eaux se font elles-mêmes une issue qui s'agrandit rapidement, remplissent en peu d'instants les galeries, et engloutissent les ouvriers. Pour éviter d'aussi graves accidents, les mineurs, avant d'enfoncer un massif que l'on suppose être occupé par les eaux, y pratiquent un trou de sonde de très-petit diamètre. Si le réservoir existe, les eaux qui s'en écoulent par un petit orifice, $0^{m}.04$, par exemple, ne peuvent, quelle que soit leur hauteur de charge, donner lieu à aucun sinistre, l'ouverture étant pratiquée dans un massif conservant une assez grande épaisseur.

Des raisons inhérentes à la nature des propriétés, à la configuration du sol, s'opposent quelquefois à ce que l'on donne, par un fossé, écoulement à des eaux qui forment étang dans les parties hautes. L'on doit alors avoir recours à un aqueduc ; mais si la distance depuis la prise d'eau jusqu'à son débouché

n'est pas grande, un sondage horizontal, correspondant à un second trou de sonde pratiqué verticalement dans le réservoir, amène le même résultat et présente souvent, sur tout autre moyen, une grande économie.

M. Colomez de Juillan, ingénieur en chef chargé du service hydraulique à Tarbes, a conçu depuis longtemps le projet d'utiliser, pour le service des irrigations de ces beaux pays, au pied des Pyrénées, un certain nombre de lacs situés dans ces montagnes. Ayant calculé la quantité d'eau fournie chaque année à ces réservoirs par la fonte des neiges, il propose de pénétrer, par une galerie à peu près horizontale et souterraine pratiquée dans la montagne, au-dessous de ces lacs, en un point qui lui permette de prendre tout ou partie de ce tribut annuel. La galerie arrivée à ce point, situé plus ou moins près des bords du lac, suivant sa forme naturelle, serait munie à sa tête d'un système de vannage puissant, capable de supporter la pression exercée par la hauteur de la colonne d'eau, et de ne lui donner que l'issue nécessaire aux besoins de l'agriculture. Ceci fait, un sondage vertical serait pratiqué pour mettre en communication le lac avec la galerie horizontale, et permettrait d'utiliser les énormes masses d'eau contenues dans ces immenses réservoirs. Jusqu'à présent, vingt et quelques lacs peuvent, d'après les remarquables études de cet ingénieur, se prêter à cette heureuse combinaison.

Cette disposition, comme on le voit, rappelle ce que nous venons de dire ; mais ici le grandiose de l'opération ne permet pas de songer au sondage horizontal ; il n'y a donc que ce qui concerne la partie verticale qui rentre dans le domaine de la sonde.

Les ponts et chaussées emploient aussi les sondages horizon-

taux pour l'assèchement des terrains qui forment les parois élevées d'une tranchée, ou pour la consolidation d'une chaussée au moyen de tirants qui servent à presser un boisage appliqué contre les plans inclinés ou talus.

On s'est encore servi de sondages horizontaux pour assainir des levées de chemins de fer, en y introduisant des drains sans interrompre le service. Sur le chemin de fer de Versailles, rive droite, un éboulement de glaise eut lieu sur une hauteur de 7 mètres et sur une longueur de 35 mètres. M. Flachat nous envoya demander plusieurs petites sondes, et, en huit jours, d'excellents résultats ont été obtenus, sans que la circulation fût un seul instant interrompue.

Les couches du terrain houiller sont souvent inclinées et presque verticales; leur constatation demande dans ce cas un sondage d'une profondeur considérable, qui, si les couches étaient à peu près horizontales, serait peu profond; on a recours alors à un sondage horizontal qui, dans un terrain régulier, peut, sans présenter beaucoup de difficultés, atteindre une distance de 50 mètres. Ce système demandant peu de hauteur pour les engins, les recherches peuvent avoir lieu dans des galeries souterraines. Des sondages horizontaux ont encore été pratiqués pour porter secours à des ouvriers pris par des éboulements et enfermés, soit dans des tunnels, soit dans des galeries de mines. Aussitôt pratiqués, ils permettent tout d'abord l'introduction de l'air, et l'établissement d'un mouvement de va-et-vient pour le passage de vivres, puis l'étude réfléchie de moyens de sauvetage, qui, entrepris précipitamment dans des terrains ébouleux, peuvent amener de nouvelles catastrophes.

Nous terminerons ces considérations par un dernier exemple.

En 1841, M. le commandant Chabaud-Latour, chargé des travaux de l'enceinte continue à Belleville, fit appel à notre maison. Les ponts et chaussées s'opposaient à ce que l'on coupât la route de Belleville à Romainville, placée à mi-côte et très-fréquentée. Il s'agissait cependant de faire écouler les eaux rencontrées en amont, qui s'accumulaient le long de la route et qu'on ne pouvait diriger vers la vallée. Un sondage horizontal, à 6 mètres au-dessous de la route, fut proposé et accepté. Il fut exécuté en peu de jours, et ne nécessita qu'une dépense de 1,500 francs, y compris les tuyaux de conduite, qui reçurent toutes les eaux accumulées sur plusieurs kilomètres de longueur pour les épancher dans la vallée.

RECHERCHES DE MINES.

Dans le nord de la France, le bassin houiller, connu généralement sous le nom de l'exploitation la plus importante (les mines d'Anzin) s'étendait, il y a quelques années seulement, sur une bande de 40 à 50 kilomètres, marchant au nord-ouest depuis la frontière, Condé et Thivencelles, jusqu'à Douai. Là, le prolongement de ce bassin houiller se perdait; quelques travaux de recherches pour le retrouver étaient restés infructueux. Dans ces dernières années, de nouvelles tentatives dans le même but furent plus heureuses, et prolongèrent successivement cette bande houillère de Douai aux portes de Béthune, et de cette ville jusque bien au delà de Lillers, sur une longueur de 80 kilomètres environ. Dix ou douze nouvelles concessions furent accordées sur les résultats fournis par les sondages. Plusieurs d'entre elles sont en pleine voie d'exploitation et ont déjà considérablement enrichi la contrée.

Les formations à traverser avant d'arriver aux grès et aux schistes houillers sont des alluvions plus ou moins puissantes, 100 ou 200 mètres de craie, quelques mètres d'un poudingue argileux connu sous le nom de *tourtia,* remplaçant dans le Nord les sables verts de la glauconie qui fournissent, dans d'autres parties du bassin crayeux, les belles fontaines artésiennes de Tours à Elbeuf en passant par Paris. Immédiatement au-dessous du tourtia, paraissent les formations houillères. Lorsque l'on fait des sondages de recherches dans ce bassin, il faut employer la sonde à plusieurs diamètres, comme pour un puits artésien. Quelques coupes de ces sondages, exécutés de 1838 à 1841 et de 1850 à 1855, en prouvent la nécessité. Les terrains traversés ne se soutenant pas généralement, on est obligé de descendre plusieurs séries de tuyaux de retenue; les couches ayant souvent un pendage de 40 à 55°, si le forage ne tombe pas dans une tête de veine, il faut percer 100 à 150 mètres dans le terrain houiller. Cette formation traversée par percussion, les schistes et les grès superposés, ayant un fort pendage, se détachent, s'éboulent parfois, et occasionnent de nombreux accidents, s'ils ne sont pas tubés.

Les gisements houillers, dans le Nord, sont généralement de 150 à 250 mètres de profondeur; les nombreux niveaux d'eau à traverser, soit dans les terrains tertiaires supérieurs, soit dans la craie, soit dans la jonction avec le tourtia, nécessitent, pour les puits d'extraction, un boisage et un picotage puissants, et l'emploi d'une machine d'épuisement de 3 à 400 chevaux-vapeur pour passer les niveaux d'eau. Frappé de cet état de choses, et voulant éviter aux compagnies de recherches des dépenses de fonçage qui ont plusieurs fois dépassé 500,000 francs, sans amener aucun résultat, M. Legrand

informa les préfets des départements du Nord, du Pas-de-Calais et de la Somme, que le gouvernement n'exigerait plus, pour accorder une concession, qu'une *avaleresse* fût faite préalablement; mais que, lorsque l'ingénieur des mines aurait été mis à même de vérifier avec certitude les déclarations des demandeurs (opération pour laquelle ils se servent des outils décrits plus loin et dessinés planche 30) sur l'existence de la houille dans des sondages à grand diamètre, les enquêtes pourraient commencer, et la concession être accordée. C'est à partir de ce moment que l'industrie des sondages pour rechercher des mines s'est développée et a amené de si grands et si beaux résultats.

Dans le département de la Moselle, on vient également de rechercher le prolongement du bassin prussien de Saarbruck sous le territoire français. Là, le terrain houiller est recouvert par les grès bigarrés et les grès vosgiens, souvent sur une très-grande épaisseur; aussi les sondages atteignent-ils 4 à 500 mètres et les dépassent même, comme on le voit par la coupe de notre sondage de Ham-sous-Warsberg. Ces sondages, entrepris sur les excellentes indications géologiques de M. Jacquot, à la suite des beaux travaux qu'il avait publiés sur le prolongement du bassin de la Sarre en France, ont fait reconnaître 120 kilomètres carrés de terrain houiller, dont l'existence était à peine soupçonnée, et la houille a été rapprochée de Metz et de tous les grands centres de consommation du département de près de 40 kilomètres. Ce résultat nous affranchira tôt ou tard du tribut que, jusqu'à présent, nous sommes obligés de payer à la Prusse. Les travaux d'exploitation sont commencés, une fosse est déjà en exploitation, et d'autres approchent des gisements reconnus.

De nombreux sondages ont été faits, ou sont en cours d'exécution, dans les bassins du centre, soit pour les étudier plus complètement, soit pour rechercher leur prolongement à certaines distances des affleurements. Plusieurs d'entre eux sont arrivés à constater de nouvelles richesses et donnent déjà lieu à des exploitations de houille, de schistes bitumineux, etc...

Le développement des chemins de fer, de la navigation à vapeur, a conduit à des recherches de houille dans les pays étrangers et jusque dans les Indes orientales, où le gouvernement des Pays-Bas nous a demandé d'expédier un équipage de sonde et un personnel capable de mener ces travaux à bonne fin. Déjà deux sondages ont constaté en quelques mois que l'île de Bornéo contient de riches gisements houillers, dans d'excellentes conditions pour être facilement exploités à moins de 70 mètres de profondeur.

Comme on le voit, l'art des sondages a acquis sous ce point de vue seulement, depuis quelques années surtout, une certaine importance, et nous tenons d'autant plus à le constater que quelques hommes, assez rares il est vrai, mais cependant quelquefois arbitres et juges suprêmes de l'industrie lors de ses concours, en ont jugé autrement. Ils l'ont trouvé trop secondaire pour entrer en ligne avec les services rendus par l'industrie fort honorable, nous n'en doutons pas, et probablement fort lucrative, qui consiste à faire et à vendre des vêtements confectionnés à bas prix.

Malgré ce jugement, nous persistons à croire que c'est une des branches industrielles qui ont donné le plus de richesses au pays, en lui demandant le moins, et le plus aidé au développement agricole et manufacturier. Il suffit, pour se convaincre de cette assertion, de jeter les yeux sur les départe-

ments les plus riches de France, le Nord, le Pas-de-Calais, etc.

De vastes bassins houillers ont été découverts et ont montré que la France pouvait être aussi riche en combustible que l'Angleterre, qu'il suffisait pour cela de le chercher et de le mettre à découvert. La houille n'existe pas partout, mais en des milliers d'endroits qui devront un jour leur prospérité à son exploitation.

Dès à présent, nous voyons que partout où cette richesse minérale a été découverte ou exploitée, l'industrie a pris naissance et acquis les plus vastes proportions : Saint-Étienne, Rive-de-Giér, Saint-Chamond, Anzin, Maubeuge, Valenciennes ont plus que décuplé d'importance; Arras, Douai, Béthune, Forbach, etc. vont suivre ce mouvement et seront imités par des centaines de localités tout aussi bien situées, lorsque le vaste réseau des chemins de fer sera accompli.

L'impulsion première donnée à ces travaux appartient tout d'abord à M. Legrand, par la sage mesure qu'il a su prendre et que nous venons de rapporter, puis aux travaux géologiques des ingénieurs des mines, et ensuite à ces hommes nouveaux, créés par l'industrie, qui, presque tous, poursuivent la route industrielle qu'ils ont ouverte. Malgré leur âge avancé, aucun d'eux n'abandonne les travaux, ou tout au moins les spéculations, non pas ces spéculations sur des valeurs plus ou moins fictives, qu'une main habile sait faire monter ou descendre aux dépens de dupes, mais sur ces valeurs réellement nouvelles et productives qui enrichissent le pays en lui ouvrant des sources inconnues de fortune.

Nous voyons aujourd'hui un certain nombre d'hommes qui, après avoir acquis par et dans l'industrie une certaine fortune, ont trouvé qu'il y avait honneur pour eux à contribuer

par des sondages profonds à faire connaître la valeur réelle du sous-sol de certaines localités. Les découvertes que leur initiative a déjà procurées permettent aux hommes de bon sens et de progrès de juger de quelle haute importance il est pour le pays, d'établir un système de fouilles et de sondages propres à éclairer l'avenir et à dresser une espèce de bilan de la richesse minérale.

Il s'agit ici de produits réels, indispensables à l'existence d'un grand peuple, qu'il faut répandre sur des points qui en étaient privés jusqu'alors, leur existence étant à peine soupçonnée sous le sol. Apparents, mais limités et concentrés sur quelques surfaces privilégiées, ces produits peuvent donner lieu aux calculs de cet esprit monopoleur si envahissant.

Les résultats des sondages ont donc, sous le point de vue seulement de la recherche du combustible, la plus haute importance, puisqu'ils sont les révélateurs de l'aliment le plus actif du commerce et de l'industrie, la source la plus certaine de la fortune publique. Chaque jour de nouvelles découvertes attestent nos ressources, étendent nos espérances, nous affranchissent de la dépendance de l'étranger, et peut-être même l'obligeront-elles à venir sur nos marchés.

Le développement de la richesse minérale pour un pays étant toujours une cause de prospérité, surtout lorsqu'elle a pour objet le fer et la houille, matériaux indispensables à la création de tous les objets de commerce, on peut affirmer qu'immédiatement après la richesse agricole, c'est elle qui prend la première place. Pour s'en convaincre, il suffit de jeter les yeux sur quelques-uns de ces États, petits en étendue territoriale, mais que leur industrie a mis au premier rang des nations civilisées.

En présence de pareils résultats, le sondage est un art qu'il faut populariser, comme devenu indispensable à tous les peuples qui veulent tirer avantage de toutes les richesses du sol. C'est même plus, c'est une nécessité première : il ne s'agit pas de projeter des chemins de fer ou de développer la navigation à vapeur, il faut encore songer par quels moyens on approvisionnera leurs machines d'une manière rationnelle, pour que leur produit couvre les frais de traction. Pour cela il faut multiplier les exploitations de combustible, les rapprocher, autant que possible, des centres de consommation, des points de relâches maritimes, etc.

On ne peut ignorer aujourd'hui les découvertes que la sonde fait d'après les indications de la géologie, ni rester indifférent aux promesses faites à l'avenir, quand ces promesses doivent amener de si merveilleux changements dans l'existence de l'homme, et qu'elles touchent si directement à ses premiers besoins : la sonde, en lui procurant du combustible, le chauffe, l'éclaire et l'aide dans ses grands travaux ; nous verrons plus loin qu'elle l'abreuve par ses sources artificielles ; on pourrait dire qu'elle le nourrit sous la forme des irrigations, des amendements qu'elle fournit à l'agriculture, et le guérit par les eaux minérales qu'elle amène à la surface. Si, comme un esprit judicieux l'a dit :

> Le globe est un vaisseau frété pour l'avenir
> Et richement chargé,

certes la sonde semble l'instrument le plus convenable pour explorer et inventorier la richesse de la cargaison, dont on connaît à peine la superficie, mais dont on ignore complétement la profondeur.

En publiant ce que nous savons sur les meilleures méthodes employées pour la fabrication et la manœuvre d'un instrument aussi utile, nous voulons le mettre à la disposition de tout le monde et amoindrir, autant que possible, le retour des obstacles que nous avons eu à surmonter. Nous espérons que ce que nous avons appris en creusant grand nombre de puits, en perfectionnant d'anciens outils, en en créant de nouveaux, en publiant même nos erreurs, servira à d'autres qui, avec nous et probablement mieux que nous, continueront à perfectionner et à simplifier des procédés qui bientôt auront un degré de sûreté tel, qu'avant vingt ans peut-être on se servira de la sonde en tous lieux. Jusqu'ici, à quelques exceptions près, on n'a fait, pour ainsi dire, qu'égratigner la terre sur un petit nombre de points. C'est à peine si on connaît l'écorce du globe à quelques cents mètres, tandis que l'avenir, approfondissant le champ des découvertes, fera surgir de 1,000 mètres et plus des substances utiles aujourd'hui inertes.

On nous a souvent dit que ces publications sur l'industrie que nous exerçons seraient nuisibles à nos intérêts. Nous croyons, au contraire, que la propagation d'une industrie est toujours utile. L'homme seul, isolé, perd de sa puissance ; son ardeur reste improductive souvent, s'il ne livre ou ne communique, au moins à un tiers, ses inventions ou ses perfectionnements. Il ne doit jamais être satisfait tant qu'il y a possibilité d'améliorer, soit par lui-même, soit par ses concurrents. Une science éminemment pratique fait plus de progrès en quelques années qu'en plusieurs siècles, si beaucoup y prennent part. Que serait la photographie tenue secrète par Daguerre ou paralysée par un brevet. Sans doute l'inventeur eût acquis une

grande fortune, mais il n'eût point vu son œuvre marcher à pas de géant.

En sondage, on peut presque dire que la pratique précède la théorie ; l'ouvrier intelligent en remontrerait souvent au plus fort mathématicien. Aucun art ne démontre peut-être plus clairement la valeur de l'instinct, du mérite pratique d'un simple ouvrier. Il est donc nécessaire de faire tout ce que l'on peut pour le populariser ; il est probable qu'il y aura plus à gagner qu'à perdre.

SONDAGE POUR EXPLOITATION DE SEL GEMME.

Comme pour toute autre mine, la sonde sert à la découverte des gisements salifères ; mais ici elle donne lieu elle-même aux puits d'extraction. Pour cela, on fore à un diamètre suffisant pour permettre d'établir un ou deux tubages que l'on bétonne avec soin, afin d'isoler complétement tout le terrain supérieur de la source salée ou de la masse de sel gemme.

Ce nouveau procédé est beaucoup plus avantageux que l'extraction en bloc du sel brut, souvent mélangé à des matières argileuses ou gypseuses dont il faut le débarrasser en le faisant fondre, lorsqu'il est arrivé au sol. Voici en quoi il consiste :

Le sondage étant fait et tubé dans toute la partie supérieure aux masses salifères, on injecte dans ce puits des eaux douces qui mettent les sels en dissolution, et ensuite, au moyen de pompes d'une construction spéciale, on ramène au sol l'eau chargée de sel presqu'à son maximum de saturation.

Ces eaux sont élevées au-dessus du sol au moyen de pompes en cuivre maintenues au-dessus du terrain sur lequel elles reposent. La tringle du piston doit plonger dans l'eau salée ;

ce mode se pratique en Souabe, dans les salines de l'Est, à Varangéville, à Saint-Nicolas, etc., etc.

Les pompes étant souvent relevées pour les réparations, il est important, pour faciliter le travail, que le sondage ait *au moins* de 0m.15 à 0m.20 de diamètre à sa partie supérieure, et soit bien tubé dans toutes les couches superposées aux formations salines.

Supposons qu'après avoir traversé 200 mètres de marnes irisées, de gypse anhydre ou de gypse calcarifère, on atteigne le sel gemme en bancs d'épaisseurs différentes, alternant avec de nouvelles couches de marnes ; si dans un pareil terrain, on descend jusqu'à 220 mètres la colonne aspirante de la pompe, elle sera en peu de temps entourée de débris de marnes et de roches. Lorsque l'enlèvement des bancs de sel gemme, par les eaux qu'il sature, aura provoqué un encombrement du trou, tel que les eaux aspirées soient trop sales pour pouvoir être utilisées, il sera urgent, pour nettoyer le trou de sonde, de relever la pompe ; on éprouvera alors des difficultés provenant des pressions produites par les débris qui entourent la colonne, et l'on courra le danger de laisser une partie de celle-ci dans le trou de sonde. Il convient donc de tuber le trou avec une colonne d'aussi longue durée que possible, ayant sa partie inférieure d'un diamètre tel, que la colonne aspirante puisse y être introduite librement, et sa partie supérieure d'un diamètre plus grand à partir d'une profondeur qui dépend de celle du sondage ; attendu que, plus cette dernière est grande, plus la colonne de liquide salé est proportionnellement pesante, comparativement à la colonne d'eau douce extérieure, ajoutée à la pression atmosphérique ; soit 40 mètres la profondeur à laquelle il convient de placer le piston au-dessous du sol, la co-

lonne dont nous parlons devra augmenter de diamètre et avoir au minimum $0^{m}.155$, c'est-à-dire laisser passer librement un corps cylindrique de $0^{m}.150$.

PUITS D'AÉRAGE DE MINES ET DE CARRIÈRES.

La température croît moyennement d'un degré par 30 mètres de profondeur. Jusqu'à quelques mètres elle varie un peu suivant la latitude.

A Paris, à 50 mètres, elle est en général de 10 à 11 degrés. Dans les mines, différentes causes concourent à l'augmenter : l'accumulation des lampes et de la population travaillante d'une part, d'une autre les pyrites en décomposition et certains gaz qui se dégagent. Beaucoup de moyens ont été tentés, avec plus ou moins de succès, pour renouveler l'air nécessaire à la conservation de la santé et de la vie des mineurs. Ils sont indiqués, expliqués et détaillés dans les ouvrages de MM. Combes, Burat, etc. ; nous ne nous occuperons donc ici que de ceux qui ressortent de notre spécialité, laissant aux ingénieurs et directeurs à examiner ceux qui sont le plus appropriés aux localités et aux circonstances qui se rattachent à leurs mines.

Souvent il existe dans les exploitations houillères ou métalliques des galeries de 1,000 à 1,500 mètres de longueur; quelques carrières présentent également des rues très-prolongées. Un des moyens les plus certains pour l'aérage est de faire des sondages de $0^{m}.25$ à $0^{m}.35$ de diamètre qui, partant du sol et plongeant jusqu'au toit des galeries, établissent des courants d'air constants. M. Sello, directeur des mines du bassin houiller de Sarrebruck, en a établi un grand nombre

au moyen du sondage à corde. Le terrain qu'il traversait étant un grès uniforme, le mode qu'il a employé était le plus économique et le plus prompt.

Lorsque l'on a à traverser des terrains qui contiennent des eaux, il faut agir comme pour un puits artésien et apporter un grand soin dans le tubage, sans quoi, au lieu d'aérer la mine ou la carrière, on la noie. La sonde, en remontant, ramenant des échantillons des terrains traversés, et le journal du sondeur lui faisant connaître les variations du niveau d'eau dans son trou de sonde, il est toujours prêt en temps utile pour tuber et bétonner l'extérieur de sa colonne avant de percer la voûte de la galerie que l'on veut aérer. On peut dans certains cas, au moyen de fortes tiges en bois reliées par des emmanchements en fer, faire des puits d'aérage de $0^{m}.60$ et même de 1 mètre de diamètre. Plusieurs de ces puits, placés sur une même galerie, établissent des courants d'air et extraient l'air vicié.

Un fait assez curieux s'est présenté lors des derniers et désastreux-débordements de la Loire. L'immense ardoisière des Grands-Carreaux, près Angers, est exploitée maintenant par vastes chambres souterraines carrées qui, accrues depuis, avaient, lorsque nous les avons visitées, les proportions suivantes : chaque face 60 mètres de longueur, l'élévation du sol à la voûte 90 mètres. Les tours de Notre-Dame de Paris n'ayant que 66 mètres de hauteur pourraient donc tenir sous cette magnifique voûte, et y figurer comme un meuble gigantesque. Comme on fabrique à l'intérieur le gaz qui sert à l'éclairage des ouvriers, et que l'exploitation se fait à la poudre, il en résulte que l'air, malgré l'énorme capacité de ces chambres, était souvent vicié par le gaz ou la fumée. Pour

y remédier, on nous chargea de pratiquer un puits d'aérage au centre de la voûte dont l'épaisseur est de 40 mètres environ. Lors du grand débordement, les eaux envahirent les travaux; l'air accumulé dans les voûtes s'y serait comprimé sans la présence du trou d'aérage qui lui donna issue, et sauva peut-être la mine de graves désordres.

DES BOIT-TOUT OU PUITS ABSORBANTS

ET DE LEUR UTILITÉ.

Beaucoup d'usines emploient une grande quantité d'eau qui, après avoir servi à l'usage auquel elle était destinée, s'est chargée de gaz fétides ou de matières corrompues. Son écoulement sur la voie publique est souvent défendu. Lorsqu'il n'y a pas interdiction positive, il y a plainte de la part des voisins et quelquefois procès. Quand les inconvénients deviennent trop graves, l'autorité intervient et prescrit à l'établissement, ou de se fermer, ou de prendre les mesures nécessaires pour ne pas incommoder le voisinage par l'écoulement à ciel ouvert d'eaux infectes ou insalubres. Si les eaux sont absorbées dans des puits ou des pierrées situées dans l'usine, il arrive à la longue que les infiltrations souterraines finissent par corrompre les eaux des puits environnants. C'est ce qui a déterminé le préfet de police à rendre, le 20 juillet 1838, une ordonnance dans laquelle les précautions suivantes sont commandées, lorsque l'on veut faire absorber les eaux fétides.

L'article premier porte : « Aucun puits, soit ordinaire, soit d'absorption, ne sera percé, aucune opération d'approfondissement de sondages et autres ne sera entreprise, aucun puisard ni égout particulier ne sera établi, sans une déclaration préa-

lable faite par écrit, à Paris, à la préfecture de police, et à la mairie, dans les communes rurales ; cette déclaration indiquera l'endroit où l'on a le projet de faire les travaux. »

L'article 14 porte : « Aucun puisard, aucun puits d'absorption ne sera établi sans une autorisation spéciale qui sera accordée, s'il y a lieu, sur la suite de la déclaration prescrite par l'article 1er.

« La profondeur du puits d'absorption sera déterminée dans la permission qui sera délivrée s'il y a lieu.

« Toutes les dispositions relatives aux puisards seront applicables aux puisards pratiqués au-dessus ou aux approches des puits d'absorption. »

Il est reconnu aujourd'hui et constaté par l'expérience, qu'un puits peut absorber une quantité d'eau égale à celle qu'il peut produire. Lorsqu'un sondage est terminé, s'il donne au sol 100 litres d'eau par minute, et que son ascension s'arrête à un mètre plus haut, on n'a qu'à prolonger le tuyau d'un mètre au-dessus du niveau de l'eau dormante, et l'on pourra verser continuellement 100 litres d'eau par minute sans dépasser l'orifice du tuyau.

Lorsqu'un sondage donne 100 litres d'eau par minute au niveau du sol, et que l'on veut en absorber 500 dans le même temps, on place dans le tuyau d'ascension une pompe qui débite 500 litres d'eau par minute, et l'on observe jusqu'à quelle profondeur le vide se fait dans le tuyau d'ascension. Si c'est à 5 mètres par exemple, il suffira de placer une colonne de la même longueur au-dessus du niveau de l'eau dormante pour absorber la quantité de 500 litres par minute.

Ce que nous venons d'indiquer pour les eaux jaillissantes au-dessus du sol est d'une application beaucoup plus facile,

lorsque les eaux rencontrées au fond d'un sondage n'ont pas une ascension suffisante pour déborder à la surface. Ainsi nous prendrons pour exemple le bassin de Paris, où la plus grande ascension des eaux rencontrées dans la formation tertiaire est de 15 à 18 mètres au-dessus de l'étiage des rivières de la Seine et de la Marne. Si un sondage est fait sur un point élevé de 25 mètres au-dessus des eaux moyennes du fleuve, l'eau ascendante se tiendra au moins à 7 mètres en contre-bas du sol, et l'absorption des eaux sera très-abondante.

Le boit-tout terminé et tubé, on doit prendre les précautions suivantes pour éviter qu'il ne soit bouché ou encombré. Si elles ne sont pas minutieusement observées, le résultat obtenu diminue peu à peu et finit par devenir nul. Il faut placer au-dessus de la partie supérieure du tuyau plongeant une calotte percée en pomme d'arrosoir, faire une excavation ou une citerne de 1 ou 2 mètres plus profonde que la tête du tuyau, afin que les eaux à absorber puissent, avant d'entrer dans le tuyau, avoir déposé leur limon, et, pour éviter que ce limon n'arrive trop abondamment et n'encombre en peu de temps la citerne, faire passer d'abord l'eau dans un premier réservoir à quelque distance de la citerne. La figure 1, pl. 19, montre un puisard dans le terrain de Paris; une première colonne de garantie ou tuyau-caisse intercepte les alluvions fluviales dans lesquelles une première absorption s'est manifestée. Une seconde colonne intercepte une partie des marnes et calcaires du gypse, et, à sa base, se trouve une deuxième couche absorbante. Enfin, une troisième traverse une partie des argiles et sables inférieurs, et rencontre dans les sables lignites une troisième absorption. La deuxième est coupée à quelques mètres dans la première. Il en est de même de la

troisième dans la deuxième ; la première colonne est recouverte d'un champignon ou calotte-filtre, dont il a déjà été question, et est située à un mètre au-dessus du fond de la citerne dans laquelle sont amenées les eaux à absorber. Elles arrivent par un tuyau dont on voit l'orifice au-dessus de la calotte, et dont l'autre extrémité plonge dans le premier réservoir où les eaux déposent une première fois, avant d'arriver à la citerne dans laquelle elles se purifient davantage, pour entrer, ainsi privées autant que possible des sédiments dont elles étaient chargées, dans les colonnes du puisard.

Lorsque la vase arrive près de l'orifice du caniveau, on la retire, et si l'on suit exactement ce que nous venons d'indiquer, un boit-tout peut fonctionner pendant de longues années sans être nettoyé. Le nettoyage, lorsque les eaux ont à la longue déposé un enduit qui paralyse la force d'absorption, est peu coûteux, et peut même être fait sans inconvénient par le propriétaire. Il suffit pour cela d'une soupape à boulet et à anse décrite pl. 11, *fig.* 13.

Quels que soient les avantages que l'on puisse obtenir des boit-tout ou puits absorbants, nous ne les conseillons que dans le cas où il est complétement impossible d'avoir recours à d'autres moyens. Ce n'est toujours qu'un travail d'une durée limitée, proportionnée aux quantités d'eau qu'on y envoie et à leur nature. Lorsque ces quantités sont grandes, nous prescrivons un filtrage préalable, en faisant passer les eaux par une longue tranchée remplie de cailloux roulés ou concassés et de graviers. Mais on comprend que pour certaines eaux ce filtrage même n'est pas complétement efficace ; bien que claires, elles peuvent encore contenir des matières susceptibles d'agglutiner les molécules des terrains absorbants, si ce sont

des sables, ou d'osbtruer des fissures, et cela à une distance assez grande pour que le nettoyage par la sonde ne puisse y atteindre. Dans ce cas, il faut avoir recours à une succion qui agisse en sens inverse du puits absorbant. Nous avons vu que ces puits ne fonctionnent que lorsqu'ils sont susceptibles de donner à une pompe des quantités d'eau aussi considérables que celles qu'on se propose de leur faire absorber. Or quand un puits est engorgé, un des meilleurs moyens de porter remède au mal, après avoir enlevé avec la sonde tout ce qu'on a pu retirer, consiste à faire agir énergiquement une pompe en prenant l'eau aussi bas que possible. La succion qu'on opère ainsi ramène d'une certaine distance des eaux pures qui, forcées de traverser les parties salies avoisinant le trou de sonde, les lavent et les rendent de nouveau propres à remplir leur fonction absorbante.

Après avoir parlé des boit-tout applicables aux fabriques et aux grandes usines, il nous reste à dire un mot de ce que font avec succès quelques agriculteurs, afin d'assainir des terres trop marécageuses pour être productives.

Les eaux pluviales ne pouvant s'écouler faute de pente, et le sol étant trop argileux pour leur permettre de s'infiltrer, elles restent stagnantes à sa surface, d'où l'évaporation seule ne les fait disparaître que pendant quelques mois de l'année.

Les couches imperméables qui sont, soit à la surface du sol, soit à quelques centimètres au-dessous de la superficie, n'ont souvent que quelques mètres d'épaisseur. Ce point est facilement vérifié par quelques heures de travail d'une sonde d'exploration, lorsque la couche imperméable n'a que 6 à 10 mètres de puissance. Si la terre est labourée en billon, et que

l'on fasse entre chaque séparation repasser la charrue, il y aura une différence d'au moins 0m.66 de niveau entre le fond de séparation de chaque billon et la partie la plus élevée du milieu. Les eaux descendront naturellement dans les rigoles, et, pour s'en débarrasser, il suffira de donner de 100 à 200 mètres de distance l'un de l'autre un coup de sonde avec une tarière de 0.20 à 0.25 de diamètre. Deux hommes peuvent faire plusieurs trous dans une journée; pour empêcher ces trous de se boucher, on fait un saucisson en épines ou broussailles, on l'introduit dans le trou, autour duquel on fait un petit collier de même nature, et d'un diamètre double de celui du sondage. Au moyen de ces précautions faciles et peu coûteuses, on obtient bientôt l'assèchement complet du sol (voyez pl. 19, *fig.* 3). Lorsque les sondages doivent être nombreux, il est plus économique d'être propriétaire de la sonde et de faire exécuter les forages par des hommes de la ferme que d'en charger un entrepreneur.

DES PUITS ARTÉSIENS

RECHERCHE D'EAU ASCENDANTE OU JAILLISSANTE; QUELQUES MOTS SUR L'ALLURE DES EAUX SOUTERRAINES ET SUR LES TERRAINS OU L'ON DOIT LES CHERCHER; EXPLICATION THÉORIQUE DES JETS ARTIFICIELS; CONDITIONS NÉCESSAIRES A LEUR EXISTENCE; SOURCES; INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES; COUP D'ŒIL SUR UNE CONTRÉE MEUBLE ET STRATIFIÉE.

En donnant une idée de l'allure souterraine des eaux, nous avons indiqué, dans le précis qui précède, les causes qui les amènent à la surface du sol, lorsqu'on leur donne issue, soit par la sonde, soit au moyen d'une excavation quelconque.

Les différentes couches qui composent l'écorce de la terre peuvent se ranger, pour le sujet qui nous occupe, en quatre

catégories : 1° terrain détritique ; 2° terrain d'alluvion ; 3° terrains tertiaire et secondaire composés de diverses couches meubles, arénacées et perméables, et de couches imperméables de marne ou d'argile, de couches puissantes de roches, traversées plus ou moins par des fissures ; 4° terrain primitif, en masses irrégulières.

Les eaux pluviales qui tombent annuellement sur le sol forment une épaisseur de 0m.60 à 0m.65 centimètres, et donnent pour chaque kilomètre carré un volume de 6 à 700,000 mètres cubes. Une partie coule à la surface du sol, chargée plus ou moins de détritus enlevés aux couches sur lesquelles elle passe ; une autre partie est enlevée par l'évaporation, et la troisième est absorbée par le sol dans lequel elle descend à des profondeurs qui dépendent de la constitution géologique de la localité où s'opère ce phénomène. Les eaux, ainsi absorbées, circulent dans les fissures des terrains, quelquefois sans y être pressées, et dans ce cas donnent naissance à des sources qui sont abondantes pendant un court espace de temps, après lequel elles disparaissent en partie ou en totalité, jusqu'à l'époque d'une nouvelle alimentation. D'autres fois elles pénètrent lentement les terrains meubles, de manière à les alimenter constamment ; de là, l'existence des sources à écoulement continu. Enfin, les eaux souterraines existent encore à l'état de repos dans des cavités, dans des dépressions dont elles ont rempli les issues, qui partent de ces réservoirs ou lacs et aboutissent à la surface du sol.

Sources dans le terrain détritique. — Ce terrain remplit les dépressions superficielles du sol. Il se trouve en dépôts puissants dans les vallées, constitue souvent le sol des déserts, et recouvre les pentes des montagnes auxquelles il a pris les

éléments dont il se compose. Selon la nature des couches désagrégées, il est perméable ou compacte. Certaines roches donnent lieu à des dépôts qui se laissent facilement traverser par les eaux, tandis que d'autres produisent de véritables brèches, entre lesquelles l'eau ne peut circuler que par les fissures qui les traversent. D'autres fois le terrain détritique est composé d'argiles ou de sables, les eaux coulent sur les premières et sont absorbées par les seconds.

Dans les pays de montagnes, on rencontre souvent des sources dans le terrain détritique, et l'on remarque que la disposition des couches de roches favorise leur présence ou s'y oppose complétement. Ainsi, si les détritus recouvrent une pente élevée et étendue qui soit à peu près la même que celle des roches qui la forment, on sera certain de rencontrer, vers son pied, des sources provenant d'infiltrations à travers ce terrain. Sur la pente opposée, les petits espaces qui existent entre les différentes assises de roches, recevant directement les infiltrations, servent parfaitement à assécher le terrain qui, dans le premier cas, est au contraire saturé d'eau. Cet exemple néanmoins ne se présentera pas, lorsque les feuillets ou les joints des roches ne laisseront aucune issue aux eaux, soit que cela provienne de la nature de leur formation, soit que ces issues aient été comblées par le terrain détritique lui-même.

Nous venons d'indiquer comment les eaux, descendant du haut des pentes, reparaissent à leur pied, sous forme de sources, en passant sous les amas de détritus. Si l'on suppose maintenant que ces ouvertures d'écoulement soient bouchées, ou recouvertes par une couche imperméable d'une grande épaisseur qui s'élève au-dessus d'elles, et que l'on traverse

cette couche au moyen d'un trou de sonde ou d'une fouille, les eaux s'élèveront dans cette nouvelle issue au-dessus du niveau de leur écoulement primitif, en vertu de la hauteur de charge, mesurée de leur point de départ à l'endroit où ont lieu les infiltrations, jusqu'au point où la fouille ou la sonde les atteint.

Sources dans le terrain d'alluvion. — Ce terrain est composé, comme le terrain détritique, de fragments enlevés à diverses couches et à diverses roches. Il en diffère par son étendue et par sa régularité plus grande, et en outre, parce que les terrains de la composition et du transport desquels il résulte ne conservent souvent plus d'analogie avec les terrains environnants : c'est le contraire de ce qui a lieu ordinairement pour le terrain détritique. Il est généralement composé de sables, graviers, cailloux roulés et de marnes ou d'argiles. Les anciens dépôts occupent souvent des contrées très-élevées, qu'elles recouvrent sur une grande étendue. A l'époque où les grands cours d'eau se sont formés, les vallées ont été comblées par des alluvions, qui aujourd'hui sont recouvertes de terre végétale et de riches cultures, au milieu desquelles les eaux s'écoulent plus lentement qu'autrefois. La perméabilité des dépôts permet aux eaux de s'y étendre souterrainement loin de leur lit : ainsi cachées, elles sont soumises aux mêmes variations qu'à l'état libre.

Les sources sont fréquentes aussi dans le terrain d'alluvion, et plus souvent que dans le précédent, elles peuvent être amenées au jour par la sonde. En effet, comme les surfaces qu'il occupe sont étendues, les eaux circulent au loin dans les couches meubles, qui quelquefois sont recouvertes par des couches imperméables. Si à une assez grande distance de

points d'infiltration, on se trouve en même temps sur un point qui leur soit inférieur, les eaux, en vertu de leur tendance à l'équilibre, s'élèveront dans la fouille que l'on pratiquera. Les alluvions les plus importantes que nous connaissions sont en Hollande, dans la vallée du Rhin, et sur le littoral de l'Adriatique, du côté de Venise. Dans cette dernière localité, M. Pasini leur assigne une puissance d'au moins 400 mètres. Lorsqu'on les remonte de la mer au pied des Apennins, on reconnaît qu'elles se composent alternativement de couches imperméables et de couches meubles, et que ces dernières, qui ont une grande étendue, absorbent une grande partie des eaux des nombreux fleuves qui les traversent; de là résultait la certitude que des puits artésiens sur le littoral de la mer réussiraient infailliblement. (*Voir* la coupe des puits que nous avons forés à Venise, pl. 52.)

Sources dans les terrains tertiaire et secondaire.—Après les terrains détritique et d'alluvion, viennent les terrains tertiaire et secondaire, dont les couches, beaucoup plus étendues, surtout celles du second, donnent lieu à des réservoirs d'eau et à des sources plus considérables que celles des deux groupes dont nous venons de parler. Ces terrains sont composés de sables, d'argiles ou marnes en couches régulières et de roches d'épaisseurs diverses. Sur beaucoup de parties élevées des environs de Paris, les eaux traversent les sables supérieurs et restent stagnantes sur les argiles ou marnes de l'étage lacustre moyen. Lorsque ces couches sont un peu inclinées et coupées par des ravins, leurs eaux s'échappent dans les parties basses sous forme de sources, tandis que sur les plateaux horizontaux elles séjournent sur le sol et s'opposent à sa culture. Quelques couches du terrain lacustre in-

férieur contiennent aussi des eaux, qui, sur quelques points, peuvent s'élever au-dessus du sol ; sur beaucoup d'autres, elles donnent des sources abondantes que l'on utilise quelquefois comme forces motrices. Celles qui viennent immédiatement après, et qui forment le groupe du calcaire grossier et celui des sables inférieurs, lequel contient les argiles plastiques et les lignites, renferment de nombreuses sources et des nappes, qui sont jaillissantes ou seulement ascendantes, selon la hauteur des points où l'on s'est placé pour les atteindre. La présence souterraine des eaux est due à la disposition des couches, qui est telle qu'elles occupent la partie la plus inférieure du bassin tertiaire de Paris, tandis qu'en se redressant, elles forment une partie de son pourtour élevé.

Une coupe générale des puits que nous avons forés dans les vallées de la Seine et de la Marne (pl. 42 et 43) fait connaître les ondulations du terrain précité, ainsi que les différences remarquables qui existent entre les niveaux d'ascension des eaux qu'ils produisent.

Le groupe des argiles plastiques ou sables inférieurs repose sur la formation crayeuse. On ne trouve pas d'eau dans la craie proprement dite à Paris ; du moins, s'il en existe, ce n'est que dans la partie tout à fait supérieure, composée d'une craie remaniée, tandis qu'en Artois, par exemple, on y rencontre des eaux jaillissantes. M. Garnier, dans son *Traité des puits artésiens* (année 1826), mentionne un grand nombre de fontaines jaillissantes obtenues dans la partie supérieure du calcaire crayeux, recouvert assez généralement par des dépôts réguliers de sables et d'argiles. Les eaux qui circulent dans les fissures du calcaire crayeux étant contenues, comprimées par des couches imperméables, s'élèvent natu-

rellement dans les trous de sonde par lesquels on les traverse. La suite des terrains secondaires, inférieurs à la craie, renferme de nombreuses sources. On y rencontre des amas d'eaux courantes donnant lieu à des jets élevés. Mais ce cas se produit moins fréquemment que dans les terrains précédents, parce que les couches arénacées deviennent plus rares. Les infiltrations ne peuvent se faire qu'à travers les fissures ou par les strates des roches, ou enfin par les pores de ces mêmes roches; il en résulte que les eaux forment moins souvent ce que l'on appelle des nappes, c'est-à-dire des surfaces étendues dans tous les sens. Elles remplissent les issues capricieuses que leur laissent les anfractuosités des roches d'où elles sortent dans les ravins, sur les penchants et au pied des montagnes. Les terrains jurassiques sont riches en sources abondantes; et leur étude, sous ce rapport, est extrêmement intéressante: les eaux s'infiltrent assez facilement entre leurs couches calcaires, et se rendent par une multitude de fissures dans des canaux principaux, qu'elles parcourent torrentiellement jusqu'à leur sortie, en dehors des massifs de terrains.

Ces roches qui paraissent si compactes, et dont les différents joints obliques à la stratification sont imperceptibles, laissent néanmoins un passage lent aux eaux, qui, en se réunissant molécules par molécules, finissent par former un volume considérable. En examinant à vol d'oiseau les contrées où les formations jurassique et liasique sont bien développées, l'on peut suivre les différentes routes que prennent les eaux pour la production des sources ordinaires, et affirmer que sur tel point le pays en est abondamment pourvu, tandis qu'elles manquent totalement sur tel autre. Il suffit pour cela d'observer le pendage et les surfaces des couches qui sont expo-

sées aux pluies; lorsque ces couches sont à peu près horizontales, les eaux ne les pénètrent que par leurs fissures ou par leurs pores; quand, au contraire, elles sont redressées sous de grands angles, elles présentent aux pluies et aux divers courants d'eau leurs joints de stratification qui en absorbent une partie. Si, sur la pente opposée à la surface ainsi arrosée que nous venons d'observer, les couches sont coupées par des vallées, ou simplement disjointes, on en verra sortir un grand nombre de petits filets d'eau, des sources d'autant plus abondantes que les surfaces d'infiltration seront plus grandes. Si, au lieu d'être interrompues, les couches se redressent autour d'un point commun, elles forment une espèce de bassin irrégulier vers la partie centrale duquel les eaux se réunissent. Dans ce cas, les sources superficielles sont plus rares que dans celui où les couches sont déchirées; mais il est possible d'obtenir des eaux jaillissantes dans les parties basses du bassin, si le sol où se tente l'essai est au-dessous des affleurements exposés aux infiltrations.

La découverte des sources exige des connaissances géologiques, et surtout une grande habitude d'observation de l'allure des terrains. L'abbé Paramelle, qui a fait sur cet objet des études spéciales, a heureusement doté plusieurs contrées de belles sources dont elles restaient privées, faute de renseignements nécessaires pour en opérer la recherche. Quoiqu'il n'entoure sa science d'aucune espèce de prestige, les ignorants n'en sont pas moins persuadés qu'il est doué d'un pouvoir indépendant de celui que lui ont donné l'étude et ses nombreuses observations.

L'abbé Paramelle a principalement étudié les sources qui avoisinent le sol, lesquelles, ainsi que nous l'avons annoncé,

diffèrent des sources artésiennes, en ce que celles-ci résultent de la réunion des eaux sous forme de nappes, et que les infiltrations qui concourent à former ces amas d'eaux souterraines proviennent de points souvent très-éloignés; tandis qu'en général, les sources superficielles proviennent d'infiltrations locales.

Les causes de l'ascension des eaux au-dessus du sol, ou en général au-dessus du point où la sonde les atteint, se déduisent d'une partie de ce qui vient d'être exposé. C'est-à-dire qu'un puits artésien est une des branches d'un tube recourbé, dont l'autre serait alimentée constamment à un niveau supérieur à l'orifice de la première; ou, en d'autres termes, l'eau s'élève dans les trous de sonde en vertu de la tendance qu'ont les liquides à se mettre en équilibre dans les vases communiquants. Examinons maintenant cette théorie dans son application. Dans les tubes de petite dimension et à surfaces polies, l'eau s'établit de niveau, ou du moins à une différence de hauteur presque insensible. Dans les tuyaux de conduite, cette différence de niveau, entre le réservoir et le point d'arrivée, ou limite d'ascension, est très-notable et varie suivant les dimensions, les formes des branches, etc. Il y a enfin un rapport entre la charge entière et la charge effective (la première étant représentée par la hauteur du point d'alimentation au-dessus de l'orifice d'écoulement, et la seconde calculée d'après la vitesse réelle de l'eau à sa sortie dudit orifice), tel que la dépense réelle n'est souvent qu'un tiers ou qu'un quart de la dépense théorique, même pour des distances et des quantités moyennes.

On conçoit que si, dans les tuyaux de conduite, les frottements apportent une si notable résistance au mouvement des eaux, ils doivent en occasionner une, incomparablement

plus grande, dans les canaux irréguliers et encombrés de détritus qui renferment les nappes souterraines; la déperdition du jet, au lieu d'être comptée par quelques décimètres comme dans le premier cas, peut être évaluée à 20, 50 et 100 mètres, selon l'étendue des formations dans lesquelles on découvre les eaux ascendantes. Un trou de sonde peut donc ne pas amener d'eau à la surface du sol, bien que son orifice soit situé de beaucoup au-dessous des divers affluents des nappes.

Une autre cause, et qui est sans doute la plus influente, s'oppose encore à l'élévation des sources artésiennes à la hauteur de leur ligne de départ; c'est leur épanchement pendant le trajet à travers les fissures et brisures de toute sorte, qui donne lieu aux sources ordinaires dont il est question plus haut.

Pour rendre claire la cause de l'ascension des sources artésiennes, nous avons supposé que les couches étaient disposées de manière à présenter la forme d'un bassin : du pourtour à peu près régulier de ce bassin, les eaux descendaient vers son centre, où elles demeuraient stationnaires. Dans cette hypothèse, en effet, les frottements seuls s'opposeraient à ce que les eaux atteignissent la hauteur de la ligne, sur laquelle ledit pourtour est suffisamment alimenté par les infiltrations. Ce bassin et l'état des eaux qu'il renferme peuvent être simplement représentés par un vase contenant de l'eau, dans lequel on fixerait un corps lenticulaire, n'y laissant que très-peu d'espace; il est clair que si l'on perce ce corps verticalement de part en part, l'eau s'élèvera dans le trou à la hauteur qu'elle occupe dans le vase. Mais si cet exemple d'un bassin, fermé de toutes parts, se rencontre dans la nature, il doit être regardé comme rare; d'abord cette forme de bassin que l'on suppose

aux couches n'est jamais parfaite, et, en outre, cette dépression, quelle que soit sa forme, est le plus souvent coupée, interrompue par mille accidents de terrain ; d'où il résulte que les eaux qui devraient, suivant notre première hypothèse, y demeurer en repos, s'échappent en partie par des échancrures latérales, ainsi que le liquide d'un vase s'écoulerait par les ouvertures faites à ses parois.

Au lieu donc de dire que les sources artésiennes s'élèvent dans les trous de sonde à la hauteur de leurs points de départ, considérés sur les élévations de terrains qui les produisent, il convient d'énoncer que ces sources s'élèvent en vertu de ladite hauteur de charge, diminuée, 1° par la fuite, à travers diverses issues, d'une partie de leur volume; 2° par les frottements que l'autre partie éprouve pour se rendre au trou de sonde. La limite d'ascension de l'eau dans un trou de sonde dépend de la hauteur de l'affleurement par lequel l'eau s'est infiltrée au-dessus du point de cessation des couches imperméables qui la maintiennent, et de la distance du point foré à l'affleurement comparée à la distance du point de déperdition des eaux. Les coupes des forages exécutés dans les vallées de la Seine et de la Marne confirment ces données.

Quelques personnes font une large part à la première de ces causes de déperdition du jet, et comparent les bassins hydrographiques souterrains à des tuyaux de conduite destinés à débiter les eaux d'un réservoir; elles énoncent que les eaux s'élèvent dans les trous de sonde en vertu de la pression qu'éprouvent en général les parois des tuyaux, que cette pression peut être accusée par un piézomètre adapté sur la conduite. Cette théorie a de l'analogie avec la nôtre, mais les consé-

quences qu'en tirent ses auteurs ne nous paraissent pas devoir être admises, si ce n'est dans quelques cas exceptionnels : suivant eux, elle explique le prétendu dépérissement des nappes, c'est-à-dire l'extinction de certains puits jaillissants autrefois très-abondants. En effet, le piézomètre et la théorie de l'écoulement des fluides indiquent une pression d'autant plus considérable sur les parois des tuyaux de conduite, que le diamètre de ceux-ci est plus irrégulier, et l'orifice d'écoulement plus petit; d'où il suit que les canaux dans lesquels circulent les nappes, tendant à s'agrandir et s'agrandissant en effet, l'élévation de la colonne d'eau, dans le trou de sonde, doit diminuer successivement jusqu'à ce que la pression devienne nulle, cas où les eaux souterraines s'écouleraient alors à l'état libre. Il nous semble que l'on peut combattre cette théorie à l'aide de ce raisonnement fort simple : les eaux se sont élevées dans le trou de sonde en luttant contre les frottements, et en second lieu contre leurs pertes, par les débouchés de toute nature, tels que fissures, interruptions ou relèvement des couches, etc. En sortant abondamment par le sondage, elles amènent avec elles, pendant un certain temps, une grande quantité de sables, d'argiles, de fragments de roches même, provenant de leur lit souterrain; mais ce charriage n'est que momentané. Si les puits les plus abondants ont vomi 50 à 100 mètres cubes de ces détritus, c'est tout ce que l'on peut admettre. A quoi se réduit le rapport de ce volume à celui occupé par les eaux souterrainement? Évidemment à une quantité infiniment petite, et qui n'a en conséquence aucune influence sur leur ascension, ou, en d'autres termes, l'agrandissement des canaux, produit par l'enlèvement des détritus et par l'érosion des eaux, n'est pas notable

et ne change en rien la pression générale qu'exercent les eaux sur les parois desdites conduites.

Si les fissures, si les ouvertures, autres que le trou de sonde, s'élargissaient continuellement, il en serait tout autrement, et le cas arriverait où les eaux, ayant par ces issues un libre cours, ne s'élèveraient plus dans la conduite verticale artificielle; c'est en effet de la grandeur de ces ouvertures que dépend la plus ou moins grande déperdition du jet, car il est clair que l'orifice d'un tuyau de conduite ne changeant pas, la pression supportée par ses parois, quels que soient les changements que subissent son diamètre et sa forme, autre part qu'à l'orifice, bien entendu, cette pression sera constamment la même. Doit-on supposer que lesdites ouvertures qui existaient au moment où l'on a atteint la nappe, et qui ne se sont pas opposées à son ascension, s'élargissent ensuite assez pour la détruire? Nous ne le pensons pas; s'il en était ainsi, on ne verrait pas généralement les mêmes sources donner les mêmes volumes d'eau depuis un temps immémorial, et pourtant beaucoup d'entre elles ne sont pas autre chose que des puits artésiens naturels qui, au lieu d'être verticaux, comme nous les pratiquons, ont une direction inclinée et contournée, mais n'en doivent pas moins leur existence au même principe d'hydraulique. Plusieurs de ces sources disparaîtraient sur certains points, pour reparaître sur d'autres où l'agrandissement des issues leur aurait donné un écoulement plus libre. La source du Loiret, par exemple, est un véritable puits artésien naturel; ses eaux ont une vitesse plus capable de raviner, d'agrandir les parois et les canaux que celles de nos puits artificiels; cependant le produit de cette source, si anciennement décrite, est toujours le même; les variations qu'elle éprouve dépendent

uniquement de la hauteur des eaux de la Loire qui, s'infiltrant souterrainement, reparaissent après un parcours plus ou moins long sous le nom de Loiret.

Une grande partie des puits artésiens que nous avons faits ont augmenté, et quelques-uns doublé de produit. D'autres ont subi de grandes diminutions provenant de l'établissement, dans la même localité, de nouveaux sondages, avec lesquels les premiers se sont mis en équilibre de niveau et de quantité; les anciens puits isolés qui ont également diminué, tant ceux exécutés par nous que par d'autres sondeurs, sont assez rares, et la cause de cet affaiblissement doit être attribuée à la crainte qu'ont eue les propriétaires, de faire les dépenses nécessaires à leur bonne confection. Nul doute que s'ils étaient réparés, ils ne reprissent leur écoulement primitif.

Les personnes qui ont cru voir dans ces diminutions des jets artésiens un appauvrissement des nappes doivent se rassurer contre un pareil accident, et il leur sera facile d'acquérir toute sécurité, en consultant sur les puits artésiens la notice de M. Arago : *Annuaire du bureau des longitudes*, 1835.

Encore un mot sur le phénomène de l'ascension des eaux dans les trous de sonde. Plusieurs personnes ont peine à concevoir comment des eaux qui se trouvent dans des couches épaisses de sables peuvent circuler assez librement dans de pareils canaux pour monter au-dessus du sol en si grands volumes, et comment, en outre, ces eaux, ainsi vomies au dehors, ne forment pas plutôt un jet de boue et de sable qu'une belle nappe pure et limpide. Nous croyons qu'un seul fait, de nature à pouvoir être observé dans une foule de localités, dissipera tout doute sur la liberté d'écoulement des eaux dans les sables. Une grande quantité de cours d'eau se sont fait un lit

dans les alluvions de leur vallée; les puits voisins des rives d'un fleuve n'ont d'autres eaux en pareil cas que celles du fleuve lui-même. Eh bien, chacun sait que si l'un de ces puits a été suffisamment foncé, non-seulement des hommes ne le tariront pas, mais une forte pompe mue par plusieurs chevaux n'y parviendrait souvent pas davantage; il faut donc que les sables et les cailloux roulés qui font là l'office de conduite entre le fleuve et le puits dont il est question, laissent un cours assez libre aux eaux que l'on déplace. Il en est de même des couches sableuses qui contiennent les eaux jaillissantes que nous allons chercher souterrainement. En effet, supposons que les tourmentes qui ont donné naissance à nos bassins géologiques puissent se reproduire, que la contrée où existe l'embouchure d'un fleuve se relève de plusieurs centaines de mètres, de manière enfin à ce que l'ancienne vallée dans laquelle s'écoulaient les eaux, en vertu de la pente douce du sol, affecte une sorte d'immense bassin; supposons, en outre, que des dépôts d'argiles, de marnes, de roches, etc., viennent combler cette nouvelle vallée, mais de manière à ce que son pourtour en domine la plus grande partie; les eaux pluviales, d'autres nouveaux cours d'eaux s'infiltreront dans les alluvions du fleuve primitif, et y séjourneront jusqu'à ce que, dans l'une des parties basses de la nouvelle vallée, on leur donne issue soit par la sonde, soit par tout autre moyen. Tel est, selon nous, le phénomène général des puits jaillissants.

Nous n'avons encore rien dit des sources que l'on rencontre dans les terrains primitifs et de transition; la stratification de ces derniers donne lieu à quelques niveaux d'eaux, mais cela est rare, parce que les couches de cette époque sont en général bouleversées, interrompues de mille manières, et

qu'aucun dépôt meuble formant filtre, comme dans les formations précédentes, ne se trouve intercalé entre elles. Les eaux circulent dans les calcaires primitifs, dans les roches sans stratification, par les fissures en tous sens qui les traversent, et n'occupent pas de niveau fixe; elles ne peuvent par conséquent être amenées au sol en vertu des principes ci-dessus énoncés, ou du moins, comme il est impossible de discerner à l'inspection du sol le point où, par hasard, l'ascension pourrait avoir lieu, les recherches dans ces masses irrégulières sont éventuelles; il ne faut les tenter qu'en cas d'absolue nécessité, et dans ce cas examiner le pendage dans lequel les fissures ont généralement lieu; l'eau ne pouvant être rencontrée que dans une fissure, il faut prendre toutes les mesures possibles pour en rencontrer dans le fonçage du terrain.

Il nous reste un mot à dire de l'application des sources artésiennes à différents usages. Dans les pays de plaines, les eaux abondantes, mais quelquefois impures, sont remplacées pour la vie matérielle par des sources obtenues par la sonde; à Paris et dans d'autres localités, les eaux ordinaires étant impropres à la production de la vapeur, en ce qu'elles laissent un épais dépôt dans les chaudières, plusieurs manufacturiers ont pris le parti de faire percer dans leurs usines un puits artésien dont les eaux alimentent leurs machines : ils y ont trouvé économie de temps, n'ayant plus les interruptions auxquelles donne lieu le grattage des chaudières, et ensuite économie de combustible.

L'agriculture emploie les sources artésiennes à l'irrigation du sol. Lorsque les petits canaux d'irrigation sont disposés avec discernement, des eaux peu abondantes peuvent amener

un résultat important, si surtout la configuration du sol se prête à cet effet.

Les habitants des déserts brûlants de l'Afrique en tirent un merveilleux parti; nous avons vu, dans le *Précis historique,* le procédé employé par les Arabes pour obtenir des eaux jaillissantes sur certains points favorablement conformés, et au moyen duquel ils perçent des puits jusqu'à la rencontre d'une nappe abondante.

Cette disposition favorable du sol est malheureusement restreinte à quelques contrées détachées et éloignées de nos centres de domination; de plus, par le fait de l'extinction d'un de ces puits, soit par suite d'ensablement, soit par suite de la destruction des boisages destinés à maintenir les terrains éboulants, il devenait impossible aux Arabes d'appliquer de nouveau leur procédé dans le voisinage d'un puits éteint ou mort, suivant leur expression. Les infiltrations d'un ancien puits étant toujours suffisantes pour se faire jour dans de nouveaux travaux, on comprend qu'en l'absence de moyens énergiques d'épuisement, il y avait là un obstacle insurmontable. C'est un fait de cette nature qui détermina le général Desvaux à appeler la sonde européenne à la réparation de semblables malheurs. Voici, à ce sujet, un fragment d'une lettre qu'il écrivait, en juin 1856, au maréchal Randon, alors gouverneur général de l'Algérie, en lui apprenant le premier succès de la sonde à Tamerna :

« Mais c'est à Sidy-Rached, en 1854, que ma résolution a « été arrêtée. Le hasard m'avait conduit au sommet d'un « mamelon de sable qui domine l'oasis entière; vous dire les « impressions que me causa la vue de cette oasis est impos- « sible : à ma droite, les palmiers verdoyants, les jardins « cultivés, la vie en un mot; à ma gauche, la stérilité, la

« désolation, la mort. Je fis appeler le cheik et les habi-
« tants, et l'on m'apprit que ces différences tenaient à ce que
« les puits du nord étaient comblés par le sable, et que les
« eaux parasites empêchaient de creuser de nouveaux puits :
« encore quelques jours, et cette population devait se disper-
« ser, abandonner ses foyers et le cimetière où reposent ses
« pères. Je compris à ce moment les féconds résultats que
« pourraient donner dans cette contrée les travaux artésiens,
« et, grâce à vous, qui avez bien voulu accueillir mes propo-
« sitions, leur donner un appui, la vie sera rendue à plusieurs
« oasis de l'Oued-R'ir, et l'avenir renferme les espérances les
« plus magnifiques. »

Depuis cette époque, de nombreuses sources ont été obtenues par la sonde. Elles ont été, au milieu de fêtes splendides, baptisées par les marabouts des noms de : fontaines de la *Paix,* de la *Bénédiction*, de la *Reconnaissance,* de l'*Amitié*, de la *Renaissance*, de la *Fertilité*, etc., et sont venues créer au désert de véritables rivières, qui font bénir le nom français par les populations sahariennes.

Trois campagnes de cinq à six mois par année nous ont suffi pour accomplir les deux parties dont se composait le programme proposé par le général Desvaux :

1° Creuser de nouveaux puits dans l'Oued-R'ir, rendre la vie aux oasis en décadence, attacher à la France ces malheureuses populations par la reconnaissance ;

2° Vivifier les steppes sablonneux qui séparent Biskra de l'Oued-R'ir, ouvrir ce désert au commerce, faire que des colonnes françaises puissent parcourir facilement ces distances, que les voyageurs isolés n'aient plus à y redouter la soif et quelquefois la mort.

Des villages et de nombreuses plantations de palmiers existent aujourd'hui là où il y a peu de temps il eût été difficile de songer à une simple halte. La planche 53 indique une partie des puits creusés de Biskra jusqu'au delà de Tuggourt.

Après l'accomplissement de ces puissants travaux, de nouvelles recherches, couronnées de succès, ont été faites dans le bassin du Hodna, pays plus habitable pour nos colons, et où bientôt l'industrie cotonnière se développera, si une administration un peu encourageante sait l'y convier.

La sonde découvre aussi des sources minérales réputées, telles sont celles que nous avons obtenues à Enghien, à Vichy, à Cusset, en Auvergne et à Hombourg (Hesse). Les eaux des puits artésiens sont quelquefois employées comme forces motrices ; nous nous bornerons à en citer quelques exemples. La figure 1re, pl. 40, représente la coupe d'un puits foré à 6 kilomètres de Tours, chez M. Lecomte, propriétaire à la Ville-aux-Dames. La craie étant peu épaisse sur ce point, le tubage du trou de sonde n'est important que dans le voisinage du sol. Une caisse hexagonale de 0m.40 de diamètre intercepte les terrains superficiels de la couche d'alluvions de la Loire ; le sondage est continué à ce diamètre jusqu'à 15 mètres, où repose une colonne en bois de chêne, terminée en tronc de cône, comme l'indique la figure 3, et une épaisse chemise de béton l'entoure jusqu'au sol. Les eaux, produisant plusieurs mètres cubes par minute, s'élèvent à 4 mètres au-dessus du sol, et mettent en mouvement deux paires de meules à blé, au moyen d'une roue de cinq mètres de diamètre ; on a indiqué, sur la projection de la colonne d'ascension, une fontaine que M. Lecomte avait le projet d'établir dans son jardin, et dont les eaux eussent joué pendant les

jours de chômage du moulin. Au lieu d'un jet d'eau interrompu et très-abondant, il eût été préférable d'en établir un plus modeste et donnant toujours. Au bas de la colonne est un fort robinet que l'on ouvre pour suspendre le mouvement de la roue hydraulique, et laisser, pendant le chômage, les eaux s'étendre dans le jardin et sur les prairies voisines.

Ces dispositions particulières, qui ont pour but d'interrompre et de modifier le régime ordinaire des eaux, sont une mauvaise chose que l'expérience nous fait proscrire. En effet, cela peut avoir les résultats les plus fâcheux en occasionnant, par suite de fermetures ou d'ouvertures brusques des appareils, des contre-coups qui réagissent sur les nappes. Celles-ci, comme on le sait, sont quelquefois dans des sables contenus entre des lits argileux; le sable, en s'échappant lors du jaillissement, a pu former un vide, ou tout au moins donner à la partie restante une texture plus lâche. Or, si lors d'un écoulement régulier à niveau fixe, il s'établit sur les argiles encaissantes une pression donnée, tant que rien ne surviendra elle restera la même; mais si l'on vient, en ouvrant brusquement un robinet ou une vanne, à donner issue aux eaux, à 2 ou 3 mètres au-dessous de l'écoulement habituel, il y aura évidemment changement de pression: elle sera moindre, et dès lors certaines parties argileuses pourront se détacher et amener quelques perturbations dans la nappe. Un autre fait peut encore se présenter : admettons qu'un puits donne, comme celui que nous avons pratiqué, il y a treize ans, chez M. Charpentier, meunier à Brou (Seine-et-Marne), 1,200 litres par minute au sol; à 2 mètres au-dessus, il ne donne plus que 800 litres; l'eau à ce moment ne charrie plus de sables, mais si l'on ouvre l'écoulement vers le bas, ceux-ci repa-

raissent. Ces sables, qui sont rejetés par la nappe, lorsqu'elle a une vitesse d'écoulement de 1,200 litres par minute, sont arrêtés subitement dans leur mouvement ascensionnel quand on ramène brusquement cette vitesse à 800 litres; ils retombent alors à la base du forage, s'y amoncellent à la longue, et finissent par obstruer le passage à l'eau, ce qui nécessite le nettoyage du trou de sonde.

A Tours, l'eau d'un puits jaillissant est utilisée aussi, comme force motrice, chez M. Tessier, brasseur. En Artois, différentes usines sont mises en œuvre par des moteurs analogues.

Lorsque les eaux n'atteignent pas le niveau auquel on désire les utiliser, elles servent encore de moteur pour l'élévation audit niveau d'une partie dc leur volume. Ainsi, le puits que nous avons exécuté chez le meunier de Brou le met à même de faire marcher son moulin continuellement. Avant le forage, huit heures de travail par jour absorbaient la réserve du ruisseau; une partie de l'eau de l'étang prend la roue au-dessous, et celle du puits artésien la prend au-dessus. Le sondage que nous avons exécuté, en 1836, chez madame la duchesse de Dino, devait conduire les eaux sur la terrasse du château, élevée de 14 à 15 mètres au-dessus du jardin. Dans l'incertitude où l'on était que cette ascension fût obtenue, nous avons fait le sondage au pied de la terrasse, et M. Vestier, architecte, a établi un petit bélier hydraulique qui, mis en mouvement par la source elle-même, élève sur la terrasse 150 litres d'eau par minute; là, un second bélier placé dans un joli kiosque, laisse couler sur la terrasse 130 litres d'eau par minute, et en élève 20 sur la plate-forme du château. Ce résultat, qui n'a pas varié depuis vingt-trois ans, donne un beau ruisseau de 500 litres par minute, qui parcourt les jardins et le parc, après avoir servi de force mo-

trice pour élever plus du quart de son produit à une hauteur de 15 mètres, où il forme un nouveau cours d'eau, qui, après avoir été lui-même moteur, redescend en cascade dans le parc.

La figure 4 indique comment se termine la colonne d'ascension en tôle ; c'est un tronc de cône en bois, fixé sur la colonne par des rivets. Il est chassé au mouton dans les premières couches de la glauconie, et reçoit la chemise de béton qui entoure la colonne jusqu'au sol. Ce sondage a été suspendu au commencement des sables et grès verts, indépendamment de notre volonté ; il pouvait être continué et donner, comme ceux de Tours, un magnifique résultat. Néanmoins, le volume des eaux a sensiblement augmenté depuis la fin des travaux.

Plusieurs belles propriétés sont un peu trop élevées sur les coteaux de la Loire pour que l'on puisse y espérer de l'eau jaillissante ; mais une grande partie pourrait avoir de l'eau par le moyen d'une simple roue à augets ; c'est une machine beaucoup moins coûteuse qu'un bélier hydraulique, et qui doit lui être préférée quand la localité le permet. La difficulté consiste, sur ces hauteurs, à perdre les eaux motrices au sortir de la roue ou de toute autre machine ; c'est en un mot la chute qu'il s'agit d'obtenir. Elle peut être produite par un siphon ou plus sûrement par un aqueduc, et, dans quelques cas, par une simple tranchée. Ce moyen d'utiliser, dans beaucoup de contrées, les sources ascendantes est simple : souvent aussi il peut n'être pas très-dispendieux. Si l'on ne peut disposer que d'une petite chute, on aura peu d'eau au-dessus du sol ; mais cette petite quantité donnée constamment dans une propriété qui en est totalement privée est encore une richesse.

La figure 2, planche 40, indique un puits artésien dont les eaux se jettent sur une roue à augets, et mettent en mouvement une pompe qui élève, au-dessus du sol, une partie de son volume.

A Saint-Fargeau, chez le marquis de Boisgelin, nous avons fait un puits de plus de 200 mètres de profondeur; l'eau ascendante est en contre-bas de la ferme où il a été foré; mais, si une galerie horizontale était ouverte, comme nous l'avons conseillé, on aurait, dans le parc, une chute d'eau qui atteindrait naturellement la hauteur des tours de cet antique manoir, construit probablement par Jacques Cœur. Les propriétaires se décideront sans doute un jour à faire ce travail peu dispendieux, comparativement au beau résultat qu'il produirait.

COUPES GÉOLOGIQUES.

Après avoir indiqué succinctement les terrains dans lesquels on peut rechercher les eaux jaillissantes ou ascendantes, nous allons donner, par plusieurs coupes géologiques, des exemples de réussite dans chacune d'elles. Nous confondrons sous la même dénomination le terrain détritique et le terrain d'alluvion proprement dit; car, quoique leur position géographique soit souvent différente, ils sont presque toujours composés des mêmes éléments, réunis d'une manière analogue.

Les sondages, pour lesquels notre maison a fourni à MM. Blanc, de Hombourg (Hesse), des équipages de sonde et des ouvriers, ont eu pour but principal la recherche des eaux minérales : plusieurs sources contenant les principes médicinaux nécessaires ont été rencontrées dans le terrain

keuprique d'où elles se sont élevées à la surface du sol ; quelques-unes sont intermittentes. MM. Blanc trouvèrent les eaux douces dont ils avaient besoin dans les débris du même terrain keuprique, qui, dans cette localité, constituent un dépôt de 10 mètres et plus de puissance ; les eaux rencontrées dans l'un des forages, à la profondeur de 6 mètres, se sont élevées à 3 mètres au-dessous du sol : elles sont abondantes et de bonne qualité. (*Voyez* pl. 41, *fig.* 5.)

La figure 4 représente les alluvions de la Seine, attaquées seulement par un puits ordinaire, et presque entièrement traversées par un sondage pratiqué dans ce puits qui ne pouvait être suffisamment approfondi à la main, à cause des eaux qui y affluaient. Un coup de sonde donne en peu de jours la profondeur convenable ; les sables qu'il traverse sont soutenus par un tube en fer de $0^m.12$ à $0^m.20$, ou un tube en bois de mêmes dimensions intérieures. Le tuyau d'aspiration de la pompe, qui primitivement ne descendait qu'au fond du grand puits, descend dans le tuyau de sondage, et prend les eaux à 4, 5 et 6 mètres au-dessous de leur niveau, d'où il résulte que, quelle que soit la quantité dont on ait besoin, le puits la fournit dans toutes les saisons.

Les couches supérieures du terrain tertiaire des environs de Paris, c'est-à-dire les argiles à meulières supérieures, les marnes et calcaires d'eaux douces qu'elles recouvrent, les sables supérieurs, déposant les eaux qu'ils reçoivent sur les glaises du terrain lacustre qui leur est inférieur, donnent lieu à plusieurs niveaux d'eau et à de nombreuses sources. Elles s'élèvent peu au-dessus du point où on les rencontre, parce que les couches qui les contiennent ont rarement beaucoup d'inclinaison et d'étendue, et le meilleur moyen d'utiliser ces

sources est d'explorer le pays avec une sonde d'agriculteur, afin d'en réunir un grand nombre dans les parties les plus élevées, s'il se peut, pour les conduire ensuite par un seul ruisseau ou tuyau vers le point à alimenter.

Les figures 1 et 2 de la même planche indiquent deux des puits jaillissants de peu de profondeur, pratiqués chez M. de Rothschild, dans sa propriété de Ferrières, près Lagny, contrée où le groupe du calcaire lacustre inférieur (deuxième terrain d'eau douce de Brongniart) est la formation géologique dominante. Un des forages n'a pas amené le résultat des précédents, parce que le banc caillouteux qui contient les eaux manque, et que les marnes imperméables qui se trouvent au-dessus reposent immédiatement sur un banc compacte de calcaire siliceux.

Les terrains tertiaires ne sont pas ceux qui donnent en France les plus beaux résultats de puits artésiens, mais ceux où on les obtient le plus fréquemment, d'abord parce que leurs couches sont propres au recèlement des eaux, et qu'en outre, étant moins épaisses que celles des terrains secondaires, elles nécessitent moins de dépense pour leur forage.

Parmi les dépôts tertiaires de France, le bassin de Paris a, jusqu'à présent, fourni en ascension d'eaux souterraines les plus heureux résultats : c'est principalement dans le groupe du calcaire lacustre inférieur, en second lieu, dans la partie sableuse et chloritée du calcaire grossier, et souvent dans ses assises marneuses, enfin dans le groupe des argiles plastiques, ou des sables inférieurs, qui est appelé premier terrain d'eau douce par Brongniart, que l'on trouve en grand nombre les sources ascendantes et jaillissantes.

Les terrains tertiaires des environs de Paris doivent les nom-

breuses sources qu'ils contiennent à leur nature alternativement compacte ou imperméable, et meuble, et en outre à leur position sur le bassin crayeux qu'ils ont rempli de leurs dépôts. Les bords de ce bassin forment aux environs de Paris comme une ceinture, que l'on peut suivre presque sans interruption ; la craie se montre partout dans la vallée de la Seine, de Dival et Villenauxe jusqu'à Montereau. Elle reparaît près Paris, à Meudon, Bougival, Rueil; elle est à jour dans toute la vallée de la Mauldre et dans celle de Vaucouleur, et sur les rives de la Seine, de Meulan à la Roche-Guyon ; dans la vallée de l'Epte et jusqu'à Longchamps. Entre Beauvais et Gisors, elle couvre encore une grande surface ; elle existe à Provins, à Sezanne, à Laon, et elle est exploitée aux environs de Compiègne, où les puits ordinaires la rencontrent au-dessous d'une faible épaisseur de terrains de transport ; enfin, elle forme le sol de la haute Normandie, de la Picardie et de la Champagne, et s'étend dans le département des Ardennes, suivant une zone dirigée du sud-ouest au nord-est, de Beaucouville, près Autry, à Maimbresson et à Blanchefosse, et s'appuie sur les terrains jurassiques, dont les affleurements se montrent successivement et parallèlement à eux-mêmes, jusqu'à une ligne allant de Mouzon à Fligny.

Les cailloux roulés que l'on rencontre sur beaucoup de points du pourtour de ce bassin sont une des preuves que les eaux y ont séjourné ; c'est donc dans cette espèce de golfe ou de lac à surface extrêmement ondulée, que se sont déposés les terrains tertiaires que la sonde du fontainier a déjà traversés entièrement sur un grand nombre de points.

L'examen de la carte géologique des environs de Paris, de M. Brongniart, celles plus récentes et plus complètes de

MM. de Senarmont, d'Archiac et Raulin, montrent clairement les dispositions des terrains tertiaires dans le bassin crayeux dont nous venons de parler; les coupes que nous donnons des vallées de la Seine et de la Marne indiquent suffisamment aux personnes qui voudront faire des recherches d'eaux jaillissantes, les hauteurs des points où l'on peut espérer un succès dans ces deux localités. Sur beaucoup de points des vallées du Grand et du Petit-Morin, on peut obtenir des eaux jaillissantes; aussi les usines nombreuses qui sont situées sur ces deux cours d'eau pourraient-elles être suffisamment alimentées par les eaux venant du fond de ces vallées; il en est de même de celle de l'Aubelin.

La plus grande puissance des couches du terrain tertiaire se manifeste visiblement, au nord et au nord-est, par leurs affleurements; en s'avançant vers le sud, elles se recouvrent successivement; et, dans cette superposition, quelques-unes d'entre elles s'amincissent ou disparaissent tout à fait.

Les coupes des sondages faits dans les vallées de la Seine et de la Marne font voir la décroissance du jet des eaux souterraines, suivant la pente de ces vallées; mais ce fait n'est pas encore suffisamment démontré, attendu que plusieurs sondages compris dans ces coupes n'ont pas atteint la fin des sables inférieurs ou des argiles plastiques, notamment ceux de Saint-Denis et de Saint-Ouen. Les sondages que nous avons exécutés à Saint-Denis au couvent des Dames de la Compassion, et chez MM. Coignet, dépassent de 20 mètres ceux qui avaient été faits, et mettent à même de faire connaître parfaitement sur ce point presque tout l'étage tertiaire, quoique nous n'ayons pas encore pénétré dans la craie proprement

dite. Néanmoins, le résultat de Reuil, celui obtenu à la papeterie de Sainte-Marie, sur le Grand-Morin, semblent démontrer que les eaux jaillissantes s'élèvent d'autant plus qu'on approche des points d'alimentation; la papeterie de Sainte-Marie surtout favorise cette supposition; ce point du Grand-Morin est à peu près situé sur une ligne nord-sud passant par Reuil; les eaux rencontrées sous les premières couches du terrain d'argiles plastiques se sont élevées à 1m.50 au-dessus du sol, par conséquent à 76 mètres à peu près au-dessus du niveau de la mer : si l'on eût poussé le sondage jusqu'à la craie, peut-être eût-on obtenu une ascension de 6 mètres au-dessus du sol, et par conséquent de 81 mètres environ au-dessus de la mer; peut-être aussi les eaux jaillissantes eussent-elles cessé de couler, attendu qu'il y a, entre ce point du Grand-Morin et Reuil-sur-Marne, une différence d'élévation de 20 mètres, et entre Sainte-Marie et la rue du Faubourg-Saint-Antoine, la différence bien plus grande de 42 mètres.

La craie, ainsi que l'a indiqué le sondage d'Ivry, près Paris, est en ce point à une faible profondeur, et il suffit de descendre la Seine, d'Issy à Bougival, etc., pour rencontrer la craie au sol; dans le haut pays, c'est-à-dire vers le nord-est et l'ouest de Paris, on voit la superposition des couches tertiaires sur la craie; sur les points bas que nous venons de mentionner, on observe aussi le même contact; mais, dans le premier cas, les affleurements des couches tertiaires absorbent une partie des eaux dont ils sont arrosés, tandis que, dans le second, ils doivent être considérés comme des ouvertures par lesquelles s'échappent, en partie assez notable, les eaux des nappes souterraines. Ces eaux s'épanchent, soit directement au dehors, soit dans les couches meubles avec lesquelles les affleurements

dont il est question sont en contact; elles sont aussi absorbées par la craie, dont la partie supérieure est souvent fissurée et donne lieu à l'établissement des puits absorbants ou boittout.

La planche 42 est une coupe passant par les différents sondages exécutés dans la vallée de la Seine, à laquelle on a joint ceux de Mondeville et de Montgermont (Seine-et-Oise); elle indique suffisamment, sans qu'il soit besoin d'entrer dans aucun détail, les ondulations du bassin crayeux et des différents étages du terrain tertiaire qui y sont déposés.

Des eaux ascendantes ont été rencontrées à Montgermont dans les marnes du calcaire lacustre; mais, lorsque le sondage fut poussé dans le calcaire caverneux, les eaux descendirent aussitôt et se perdirent avec bruit dans les anfractuosités de cette roche.

Les eaux rencontrées à Mondeville à 150 mètres se sont maintenues dans le grand puits à 35 mètres seulement audessus de la mer. Avant le sondage, le grand puits contenait les eaux provenant des infiltrations dans les sables supérieurs, et qui, après avoir traversé la masse fendillée du calcaire lacustre, restaient stationnaires sur les marnes qui se trouvent au-dessous. Ces eaux, qui occupaient dans le puits, en hiver, une hauteur de 16 à 20 mètres au-dessus du fond, se perdent aujourd'hui dans la nappe rencontrée à 150 mètres dans les sables chlorités du calcaire grossier; mais cette nappe fournit une quantité d'eau constante, quelle que soit la saison, tandis que, en été, le propriétaire était, avant le forage, entièrement privé d'eau.

Lorsque l'on descend dans le grand puits, on remarque un phénomène analogue à celui dont nous avons parlé pour Mont-

germont. De violents courants d'air s'échappent par les fissures du calcaire siliceux.

Dans la note que nous donnons ci-après des hauteurs d'ascension des eaux, dans les sondages échelonnés dans la vallée de la Seine, nous ne comprendrons pas Mondeville, n'étant pas certain de sa cote de hauteur au-dessus de la mer.

LIMITE D'ASCENSION DES EAUX AU-DESSUS DE LA MER DANS LA VALLÉE DE LA SEINE.

Essonne (eaux jaillissantes)		42m.50
Corbeil	*idem.*	42 »
Soisy	*idem.*	40 »
Crosnes	*idem.*	39 80
Ivry	*idem.*	36 50
Rue du Faubourg Saint-Antoine (eaux ascendantes)		31 »
Saint-Ouen (eaux jaillissantes)		35 »
Saint-Denis	*idem.*	34 »

Ainsi qu'on le voit, la ligne de jonction des points limites de l'ascension des eaux forme une courbe irrégulière, dont les parties les plus élevées se trouvent être, à ses extrémités, Essonne et Saint-Ouen; mais, entre ces deux points, il existe encore une différence de 7 mètres qui vient à l'appui du principe général énoncé précédemment, c'est-à-dire, que vers le haut pays, dans le voisinage des surfaces d'infiltration, on obtiendra une ascension plus grande que vers Paris, où les nappes trouvent leur issue à la fin des couches qui les contiennent.

Le relèvement de la ligne de jonction des points limites d'ascension vers Saint-Denis et Saint-Ouen, relèvement qui pourrait être plus considérable si le terrain d'argiles plastiques avait été entièrement exploré, est un fait qui ne doit pas étonner, si l'on considère que la plaine dans laquelle ces deux points sont situés est entourée de tous côtés, excepté à l'ouest, par les formations essentiellement propres au recèlement des eaux souterraines.

Le sondage de Champrosay a donné un résultat à peu près analogue à celui de Soisy-sous-Étioles, mais que la mort du propriétaire a empêché de compléter.

Celui de la barrière d'Italie, chez M. Régis-Bouvet, présente un des exemples, heureusement très-rares, de non-succès dans le bassin de Paris. On ne pouvait d'abord espérer obtenir des eaux jaillissantes sur ce point culminant, mais l'existence du calcaire grossier recouvrant les argiles plastiques, faisait raisonnablement présumer que les couches sableuses de ce dernier terrain donneraient des eaux ascendantes en quantité suffisante pour l'alimentation de l'usine; il n'en a pas été ainsi. Après la formation du calcaire grossier, on a bien rencontré le terrain d'argiles plastiques, mais ces argiles, toujours compactés et ici fort épaisses, ne contiennent, par anomalie, aucune couche perméable sableuse; leur passage à la craie se fait immédiatement, tandis que, à 500 mètres de distance, dans deux sondages exécutés à l'usine de M. Pauwels, une couche de sable quartzeux, dans laquelle on a rencontré les eaux les plus ascendantes, sépare nettement de la craie les argiles plastiques ou les marnes argileuses par lesquelles elles se terminent souvent. Cette anomalie se présente très-fréquemment sur les bords de la Bièvre, à Gentilly, où, sur plu-

sieurs forages exécutés, la moitié environ donne des eaux abondantes, et l'autre n'en donne pas, sans que l'on puisse trouver un axe de direction : un puits situé entre deux autres qui ont réussi ne donne aucun résultat. On peut admettre que les sables ont suivi certains courants séparés par des dépôts argileux qui recouvraient directement la craie. L'un d'eux cependant a présenté des sables fort beaux, pleins d'eau, mais probablement fermés de toutes parts par une ceinture d'argile; ils ne constituaient qu'un nid ou îlot qui a été épuisé en deux ou trois jours. Aux ateliers de construction de M. Cavé, près la barrière Saint-Denis, cette anomalie s'est encore présentée, bien que dans tous les nombreux sondages de la Villette on ait obtenu de beaux résultats. La sonde a traversé dans ce puits des argiles très-pures qui reposent directement sur la craie, dont la partie supérieure ne contient aucune fissure.

Le sondage du bazar Bonne-Nouvelle, à Paris, a été exécuté comme boit-tout, au compte de MM. Labbé, Rossigneux et Cie, pour l'absorption des eaux ménagères et des eaux pluviales provenant de ce groupe d'édifices. Trois nappes absorbantes ont été rencontrées par le forage : la première, à 15 mètres 33 centimètres, la deuxième, à 44 mètres, et la troisième, à 76 mètres, dans les sables ligniteux des argiles plastiques. Le résultat que l'on attendait de ce travail a été complétement obtenu et n'eût jamais été altéré, si les précautions que l'on doit toujours prendre pour le versement des eaux à absorber eussent été observées. Ces précautions, déjà indiquées à l'article *Boit-tout*, consistent à laisser déposer les eaux dans une citerne avant de les faire écouler dans le trou de sonde, afin qu'étant dégagées des matières qu'elles contiennent, elles n'engorgent pas les interstices des canaux absorbants. Lors

de l'achèvement du forage, une expérience d'absorption fut faite : le réservoir, plein d'eau, et pouvant contenir 36 tonneaux, était alimenté par une pompe produisant 1 tonneau par 5 minutes. Trois tonneaux placés sur le sol ont été successivement versés dans le bassin, pendant que la pompe fonctionnait sans interruption : le tout a été parfaitement absorbé en 20 minutes, après lesquelles l'eau a repris immédiatement son niveau dans l'intérieur des tubes. D'où il résulte que 43 tonneaux ont été absorbés pendant le temps qu'a duré l'expérience, ce qui porte la quantité par minute à 450 litres.

Il fut recommandé aux propriétaires du bazar de veiller à ce que le niveau des immondices charriées par les eaux ne dépassât jamais celui de l'orifice des tuyaux, s'élevant à 0m.66 au-dessus du fond de la citerne. Pendant trois ans, le puits a complétement absorbé toutes les eaux versées dans la citerne sans que celle-ci fût visitée une seule fois. Une obstruction s'étant manifestée, nous avons été appelés, et nous avons reconnu que les vases remplissaient la citerne à 1 mètre au-dessus de la calotte sphérique dont l'orifice des tubes est recouvert : nous avons alors fait nettoyer la citerne, ôter la calotte et vider le trou de sonde au moyen d'un tuyau-soupape à corde. Les boues et les sables remplissaient complétement le puisard. Cette opération terminée, l'absorption reprit son cours, mais moins bien que précédemment, et c'est ce qui devait être, car les sables absorbants avaient été graissés et comme agglutinés par les boues provenant de la citerne. Pour bien réparer ce puisard, il faudrait maintenant relever la dernière colonne de tubes, élargir le forage et le tuber de nouveau.

Cet exemple démontre qu'un puisard foré est un excellent mode d'absorption, lorsque l'on maintient en bon état la ci-

terne dans laquelle les eaux doivent préalablement se dégager des matières qu'elles tiennent en suspension; mais, qu'au contraire, un bon puisard devient un auxiliaire onéreux et inutile, lorsque ces précautions ne sont pas rigoureusement observées.

Nous passons sous silence plusieurs des sondages de la planche 42, parce que le but dans lequel ils ont été faits, ainsi que les résultats qu'ils ont donnés, sont consignés dans un état dressé à cet effet. Le sondage des Moulineaux ou du Val-Fleury est un des puisards que nous avons exécutés au viaduc du chemin de fer de Versailles (rive gauche de la Seine); il fait voir la craie à une faible profondeur, recouverte seulement par 10 ou 15 mètres d'argiles plastiques, et quelques assises de calcaire grossier.

La planche 43 est une projection des coupes des différents sondages échelonnés dans la vallée de la Marne, sur un plan est-ouest. L'ensemble des figures fait connaître assez clairement les relations qui existent entre les orifices des différents sondages qu'elles représentent, et les niveaux de la Seine et de la mer, au-dessus desquels ils sont situés, ainsi que les hauteurs d'ascension de leurs eaux par rapport aux mêmes surfaces et à celle du canal de l'Ourcq. A partir de Meaux jusqu'à Alfort, au confluent de la Seine et de la Marne, les niveaux des eaux jaillissantes sont situés sur une ligne ondulée, dont le sommet s'élève au-dessus du canal de l'Ourcq, et le point le plus bas se trouve à $0^{m}.13$ au-dessous de ce niveau. A Reuil, la ligne de jonction atteint son maximum de hauteur au-dessus du canal et au-dessus de la mer; et nous avons dit plus haut qu'à Sainte-Marie l'ascension dépassait celle de Reuil de 15 à 20 mètres.

HAUTEURS COMPARATIVES DE L'ASCENSION DES EAUX DES PUITS ARTÉSIENS DE LA VALLÉE DE LA MARNE.

	Au-dessus de la mer.	Par rapport au canal.
Ivry-sur-Seine.	36m.50	— 13m.
Charenton ou Alfort. . . .	39	— 11
Vaires.	53	+ 1 60
Claye.	52	»
Anet.	52 60	»
Trilbardou.	52	— 1
Meaux.	52	— 2 50
Reuil.	60 50	+ 3
Papeterie de Sainte-Marie sur le Grand-Morin. . . .	75	

Le sondage de Champigny, ainsi que celui de Poulangis, qui n'est pas figuré dans la planche 43, sont deux exemples de non-succès dans la vallée de la Marne, exemples d'autant plus extraordinaires, que ces trous de sonde ont traversé le groupe des argiles plastiques complet, c'est-à-dire avec leurs sables ligniteux et quartzeux tout à faits purs; mais ces couches meubles, qui jusqu'à présent ont toujours fourni, dans nos terrains tertiaires des environs de Paris, des eaux ascendantes et jaillissantes, sont complétement secs sur ces deux points. Ce phénomène ne peut être attribué qu'aux ondulations du bassin crayeux, qui forment, sans doute, aux abords de Champigny et de Poulangis, comme des ceintures contre lesquelles les couches aquifères éprouvent des solutions de continuité.

Les sondages de Vincennes et de Créteil ont eu pour but,

l'un l'absorption des eaux des fossés du château, l'autre celle des carrières de calcaire grossier appartenant, à cette époque, à M. Marie. L'immense quantité d'eau qui provient des couches du terrain de calcaire grossier n'a pu être complétement absorbée à Créteil; mais toutes les eaux pluviales et domestiques accumulées dans les fossés du château de Vincennes ont été pendant plusieurs années entièrement enlevées par le puisard. Les précautions que nous avions recommandées pour l'entretien d'un puisard ayant été négligées là comme au bazar Bonne-Nouvelle, à Paris, les mêmes résultats devaient arriver: le puisard de Vincennes s'est trouvé rempli de détritus, et bien que nous l'ayons fait nettoyer, l'absorption est aujourd'hui moins complète qu'autrefois. Un accident semblable est encore arrivé à un lavoir situé près de la barrière de Charenton, à Paris. Le puits était destiné à absorber les eaux du lavoir. Après avoir pris pendant un certain temps les précautions, on eut la négligence de laisser entrer dans le trou de sonde des chiffons, des charpies, etc. Il en résulta un engorgement complet; on nettoya, mais néanmoins, au bout de quelques mois, une partie des propriétés absorbantes du puits était perdue. L'expérience démontre que, malgré le filtrage, l'énorme quantité de savon en dissolution dans les eaux d'un lavoir public suffit pour rendre les couches absorbantes totalement imperméables.

Une réussite très-complète d'absorption a lieu dans la fabrique de rouissage de lin de M. Delbard, près Melun. Depuis plusieurs années, toutes les eaux de ses réservoirs se perdent dans un forage que nous avons pratiqué. Ces eaux passent, avant de se rendre au puits, dans un filtre à pierres sèches, formé de cailloux concassés et de sables, et n'y arrivent que très-transparentes quoique colorées. La conservation en bon

état de ce boit-tout est due aux soins intelligents du propriétaire de cet établissement.

Les planches **44** et **44** *bis* donnent les coupes de 6 sondages exécutés dans le département du Nord pour la recherche de la houille. Les sondages de Marchiennes et de Vred (pl. **44**) ont amené des eaux fortement jaillissantes, provenant de la partie supérieure de la craie, dont les fissures reçoivent les eaux qui s'épanchent au travers des couches tertiaires recouvrant ce terrain suivant une épaisseur assez considérable; la même nappe a probablement été rencontrée à Flines; mais, soit que ces eaux aient été moins jaillissantes que celles des sondages précédents, ou bien qu'elles se soient perdues dans les sables maigres qui avoisinent le sol ou dans ceux superposés à la couche d'argiles sableuses qui forme le passage des terrains tertiaires au terrain crétacé, elles n'ont pas été mentionnées dans le journal des travaux.

Les conditions dans lesquelles ces eaux jaillissent sont les mêmes que celles décrites par M. Garnier, dans sa notice géologique des environs de Béthune (Pas-de-Calais), et rentrent, du reste, dans l'explication générale des phénomènes des puits artésiens; ainsi, les eaux pluviales s'infiltrent dans le dépôt tertiaire par ses affleurements, descendent dans la craie aussi profondément que ses fissures le permettent, et, comme elles sont contenues, vers le haut, par les couches argileuses dont la craie fissurée est recouverte, elles s'élèvent naturellement dans les forages par lesquels on leur livre un passage au travers des argiles.

On conçoit que, pour mettre à profit toute la quantité d'eau que la nappe est capable de fournir, il est important qu'un tube hermétiquement ajusté descende jusque sur la

craie, ou s'arrête dans la dernière couche argileuse qui la recouvre; autrement les eaux se perdraient presque en totalité dans les sables de la partie supérieure du sondage.

Tous les puits jaillissants de l'Artois sont analogues à ceux de Marchiennes et de Vred (Nord) dont nous venons de parler. C'est toujours après avoir traversé ce dépôt tertiaire et pénétré à une profondeur peu considérable dans les terrains de craie, que l'on rencontre la nappe jaillissante, dont l'abondance est telle sur certains points, qu'elle est utilisée comme force motrice, ou pour les irrigations.

La planche 44 *bis* représente trois sondages pratiqués dans le même département, également pour la recherche de la houille; ici, la couche de craie proprement dite a été traversée par les trois sondages sans qu'on y ait reconnu de filet d'eau; ce fait n'étonnera pas, si l'on remarque que la hauteur moyenne du sol au-dessus de la mer, sur les trois points d'Abscon, Auberchicourt, Émerchicourt, est d'environ 60 mètres, tandis que celle des trois premiers n'est que de 16. Il résulte de ce relèvement de terrain que le dépôt tertiaire se réduit à une faible épaisseur, et que, de ce côté, les infiltrations ne peuvent pas avoir lieu, parce que ces couches meubles sont probablement ravinées, sur plusieurs points, jusqu'à la surface crayeuse. En outre, pour que les nappes qui alimentent Marchiennes et Vred puissent reparaître au niveau d'Abscon, Auberchicourt et Émerchicourt, il faudrait que, sur les premiers points, elles s'élevassent à 60 mètres au-dessus du niveau de la mer, ce qui est loin d'avoir lieu.

Ainsi que l'indiquent les coupes des planches 44 et 44 *bis*, ces sondages ont atteint, au-dessous du terrain crétacé, le terrain houiller, et trois d'entre eux ont atteint le terrain de transition;

dans deux seulement, ceux de Flines et d'Émerchicourt, le terrain crétacé repose immédiatement sur le terrain de transition.

On remarque aussi que, dans ces six sondages, aucune ascension d'eau ne s'est manifestée, parce que les sables verts de la partie inférieure du terrain crétacé manquent dans ces localités. Ce fait est important à noter, pour mettre les propriétaires et les villes en garde contre les assertions de plusieurs journaux qui, à la suite du résultat du puits de Grenelle, annonçaient que, partout, à la base de la craie, on doit rencontrer des eaux jaillissantes. Nous avons démontré, dans une lettre adressée à l'Académie des sciences, les graves inconvénients dans lesquels, par suite d'un enthousiasme irréfléchi, on entraînerait le public. Toute la formation jurassique manque également et reparaît dans le département de la Somme, à Lucheux (pl. 45). Ce sondage ainsi que celui de Gouy (Pas-de-Calais) ont été exécutés pour la recherche de la houille, le premier au compte de la compagnie de Bouquemaison, le second, au compte de la société départementale du Pas-de-Calais. Le premier a été abandonné dans la formation oolithique, le second a été poussé trop loin, on peut le dire, dans le terrain de transition. Le groupe des sables verts est indiqué sur ces deux points, suivant une épaisseur assez notable pour le bien caractériser. A Lucheux on a rencontré une nappe jaillissante.

A Lille, la craie ne contient pas d'eau ascendante; le groupe des sables verts n'y est annoncé que par les argiles et le tourtia, qui se montrent dans presque toute la contrée dont nous venons de parler (ce tourtia est ordinairement un conglomérat à ciment argilo-calcaire; les noyaux sont de quartz et de grès). Le tourtia repose, à Lille, immédiatement sur le calcaire carbonifère, dans les fissures duquel se trouvent les eaux jaillis-

santes qui sont contenues par les argiles ou dièves de la craie, d'une manière analogue à celle dont les argiles du dépôt tertiaire, citées précédemment, contiennent les eaux de la partie supérieure du terrain crayeux. Cette analogie peut du moins être supposée, si le calcaire carbonifère est traversé par une multitude de fissures aboutissant presque toutes à la partie supérieure; mais on peut présumer aussi que quelques fissures, ayant leur origine à la surface du calcaire et vers les parties relevées des affleurements, descendent profondément dans sa masse et figurent ainsi des canaux inclinés, desquels l'eau s'élève dans l'ajutage vertical représenté par le sondage.

Les exemples qui précèdent démontrent que, lorsqu'on entreprend un sondage dans le terrain crétacé, on ne peut pas toujours espérer y rencontrer les eaux jaillissantes dans le groupe des sables verts par lequel il se termine, suivant l'ordre géologique; que ce groupe manque souvent, ainsi que toute la formation jurassique, et que les fissures des terrains inférieurs offrent seules des chances de succès.

Le beau succès obtenu à Paris, sous la craie, dans le groupe des sables verts que l'on a seulement attaqués, la température élevée des eaux jaillissantes, due à la grande profondeur d'où elles proviennent, avait donné dans le temps au conseil municipal l'idée de construire un nouveau puits artésien au Jardin des Plantes. Ce puits, que l'on aurait poussé jusqu'à la fin des sables verts, et peut-être au delà, aurait dû fournir des eaux dont la température, augmentant en raison de la profondeur du sondage, aurait permis de les employer en hiver à l'entretien des plantes en serre; ce but peut, en effet, être atteint si les couches aquifères ont, au-dessous de la craie, la puissance qu'on leur suppose, ce qu'on ignore complétement;

mais il peut arriver aussi que le groupe des sables verts ne soit simplement représenté que par quelques couches de sables, de grès et d'argiles sableuses, comme cela a lieu dans les départements du Pas-de-Calais et de la Somme, sur les points que nous avons explorés; il peut arriver encore que la formation jurassique manquant entièrement, on soit privé des eaux qui se trouvent souvent dans cet autre étage des terrains secondaires, et que là, comme à Lille, on n'ait d'autres chances de succès que dans les fissures du terrain de transition, si les couches schisteuses du terrain houiller, dans lesquelles on rencontre quelquefois des eaux jaillissantes, manquaient également.

Le but que le conseil municipal se proposait, en projetant le forage d'un puits artésien dans le Jardin des Plantes, n'était pas seulement, sans doute, d'obtenir des eaux chaudes, mais aussi des eaux salubres et abondantes au-dessus du sol, et par lesquelles on eût embelli cet établissement par de magnifiques fontaines; ce n'est pas non plus seulement le Jardin des Plantes que la ville de Paris doit doter d'un pareil avantage; beaucoup de quartiers le réclament, et il faut espérer que, maintenant que la certitude est acquise que, sur un point quelconque de la ville, un succès analogue à celui de Grenelle peut être obtenu avec un temps et une dépense moindres, nous verrons d'ici à quelques années dans la capitale plusieurs autres fontaines artésiennes ayant leur origine sous le terrain crétacé.

Sur l'invitation officieuse de M. Riant, alors membre du conseil général du département de la Seine, nous avons étudié, il y a maintenant onze ans, un projet ayant pour but de fournir à Paris une certaine quantité d'eaux potables impé-

rieusement nécessaires à certains usages. Nous avions naturellement cherché à résoudre le problème au moyen de puits artésiens forés jusqu'aux sables verts. Pour cela, nous proposions d'ajouter au puits de Grenelle déjà foré six nouveaux puits qui auraient donné leurs eaux aux points suivants.

En récapitulant le volume d'eau obtenu approximativement par ces différents puits, on avait :

	Litres par minute.
Grenelle (altitude 70 mètres).	800
Barrière du Roule (altitude 60 mètres). . .	1,100
Place de l'Europe (altitude 60 mètres). . .	1,100
Hôpital de Lariboisière (altitude 60 mètres).	1,100
Barrière Saint-Mandé (altitude 60 mètres). .	1,100
Tour Saint-Jacques-la-Boucherie (altitude 40 mètres).	2,000
Jardin des Plantes (altitude 40 mètres). . .	2,000
Total par minute. . .	9,200

et par 24 heures, 13,248,000 litres. Or, on comptait à cette époque sur une population de 1 million d'âmes à Paris ; en donnant 10 litres par tête de cette eau exceptionnelle, on n'avait qu'une dépense de 10,000,000 de litres par jour.

L'ensemble des chemins de fer, qui, plus que toute autre industrie, ont besoin d'eaux très-pures, consommait environ 1,000,000 de litres d'eau par jour. Il restait donc pour l'avenir et les établissements publics 2,248,000 litres d'eau et ce que l'on pourrait obtenir par de nouveaux sondages.

Nous estimions que ces puits tubés à $0^m.20$ de diamètre, et en cuivre rouge, coûteraient en moyenne 250,000 francs, soit,

pour les six, une dépense 1,500,000 francs. (Nous laissions le septième en dehors puisqu'il est exécuté.) Ces six puits, en donnant 12,096 mètres cubes d'eau par jour pour une somme de 205 francs 47 centimes, représentant l'intérêt par jour de l'argent employé aux forages, donneraient donc de l'eau à 0 fr. 017 le mètre cube. Nous ne connaissons aucun moyen de se procurer cet élément à aussi bas prix.

Aujourd'hui, sans augmentation de prix, on pourrait forer ces puits à un diamètre un peu plus grand, pour obtenir un tubage définitif de 0m.25, quoique nous ne voyions aucun avantage à cela, et que nous soyons assez disposés à regarder comme plus nuisibles qu'utiles des dimensions plus grandes.

Il y a six ans, quelques propriétaires du faubourg du Temple nous avaient demandé communication de ce projet par l'entremise de l'un d'eux, M. Rabier. Ils proposaient à la ville de faire exécuter à leurs frais un de ces forages, et d'établir une canalisation pour alimenter une partie de ce quartier totalement privé d'eau. Ils s'engageaient à abandonner tous leurs travaux à la ville au bout de quarante années. Leur proposition fut refusée, la ville ne voulant point aliéner son sol, même temporairement, à une compagnie des eaux, et se réservant probablement pour son compte personnel la solution de ce problème, si important pour le bien-être de ce quartier.

Ce projet, ajoutions-nous en terminant, avait l'avantage, dans un cas éventuel de guerre, de donner à Paris des sources dans son sol même, et de le mettre à l'abri des inconvénients qui résulteraient de la rupture de canaux ou d'aqueducs. Nous citions à l'appui de cette opinion Venise, qui n'a pu résister qu'à l'aide de ses puits artésiens au siége prolongé des Autrichiens.

La ville de Paris a fait commencer, en 1855, à Passy, un nouveau puits dont le but était d'alimenter les rivières du bois de Boulogne. Elle a chargé de ce travail M. Kind, ingénieur saxon, qui avait proposé, moyennant une somme de 350,000 francs, de traverser la craie comme à Grenelle, et de pénétrer de 25 mètres dans les sables verts, en donnant $0^{m}.60$ de diamètre intérieur à la colonne d'ascension. Ce forage devait être terminé dans le délai d'une année. Aujourd'hui, août 1860, par suite d'accidents, ce travail n'est pas achevé; on espère toujours qu'il le sera bientôt. Nous y reviendrons dans un des chapitres suivants, lorsque nous exposerons les procédés de ce sondeur. Nous nous bornons, pour le moment, à déplorer la témérité de tels engagements qui, pris pour base par certains propriétaires, nous ont été imposés et ont eu pour résultat de faire manquer ou ajourner de nouveaux travaux. Il est inutile de dire qu'avec la question de temps, celle de la dépense est également dépassée, et le chiffre en est tel, que toute ville ou administration hésite désormais à entreprendre des travaux analogues, craignant un entraînement à des dépenses folles, ou tout au moins de compromettre gravement la fortune de l'industriel employé, si on le forçait à tenir sérieusement ses engagements. Nous n'hésitons pas à déclarer, ainsi que nous l'avons toujours fait, que les chiffres que nous avons posés pour des travaux de ce genre sont très-suffisants, en adoptant des dimensions raisonnables et que l'expérience démontre convenables. De nombreux travaux à de grandes profondeurs, quelques-unes voisines de celle qu'il s'agit d'atteindre, nous autorisent suffisamment à avancer ce fait et à déclarer qu'avec une bonne marche, un semblable travail peut être exécuté en dix-huit mois, deux ans au plus, et qu'il fau-

drait des accidents impossibles à prévoir pour qu'on mît trois années.

Déterminer d'une manière précise les points extérieurs de la nappe qui alimente le puits de l'abattoir de Grenelle à Paris est chose assez difficile; cependant, en observant le relèvement du terrain crétacé sur les terrains jurassiques dans les départements des Ardennes, de la Marne et de l'Aube au nord-est, et suivant cette superposition sur toutes les formations jurassiques de l'est de la France, on concevra que les infiltrations peuvent avoir lieu sur beaucoup de points de ces contrées élevées.

Dans le département des Ardennes, la rivière d'Aisne et ses petits affluents arrosent les sables verts sur une distance de 40 kilomètres, dans une largeur d'environ 15 kilomètres; on pourrait donc déjà avancer, sans crainte d'être contredit, que les eaux jaillissantes du puits de Grenelle descendent d'Attigny, de Vouziers, de Grandpré, d'Autry, etc., lieux tous situés sur les grès et sables verts, attendu que ces points sont à 100 mètres environ au-dessus de la plaine de Grenelle, et qu'ils se trouvent sur la ceinture formée autour de Paris par le terrain crétacé. En remontant, au nord-ouest, le département des Ardennes, on observe encore plusieurs lambeaux des sables et grès verts arrosés par de petits cours d'eau, tels que le Vaux, le Marave, la Serre, etc. L'Aube qui, depuis sa source jusqu'à Origny (Aisne), coule sur la formation oolithique, est dominée par des coteaux où le groupe des sables verts se montre suivant une zone non interrompue, depuis Rumigny (Ardennes) jusqu'à la Hourbe, à 7 kilomètres nord de Vervins (Aisne); cette zone de grès verts est située sur la rive gauche de l'Aube, et affecte la direction générale des formations ju-

rassiques du département des Ardennes. La rive droite ne présente que des lambeaux rapprochés de grès verts qui laissent à nu la formation oolithique. L'état d'isolement de ces lambeaux les rend impropres aux infiltrations ; en continuant à descendre l'Aisne, on voit encore des affleurements de grès verts dans la vallée de l'Oise. Enfin ils forment quelques affleurements sur les frontières de Belgique. Vers le sud-est, au-dessus de Troyes, et à la frontière des départements de l'Aube et de la Haute-Marne, la glauconie reposant soit sur l'Oxford-Clay, soit sur le Coral-Rag, se montre à jour sur une longue étendue, et sert ainsi à l'alimentation des réservoirs rencontrés à Grenelle, à Elbeuf et à Tours.

Toutes les infiltrations descendant des régions nord, nord-est et est, s'écoulent en suivant la pente des couches vers les parties opposées. Nous avons déjà cité quelques-unes des sources jaillissantes au-dessous de la craie des départements de la Somme et du Nord. Le département de l'Aisne a aussi plusieurs fontaines jaillissantes provenant du groupe des grès verts, notamment à Saint-Quentin. Il en est de même de la Seine-Inférieure : à Rouen, un sondage exécuté par MM. Flachat a donné une source jaillissante abondante ; un premier sondage avait été fait avant celui dont nous venons de parler, et avait donné les mêmes résultats. Elbeuf possède aussi des puits artésiens dont plusieurs usines utilisent les eaux jaillissantes.

Nous avons été chargés, il y a quelques années, d'un forage à Kentish-Town, près Londres. Des études géologiques fort remarquables de M. Prestwich indiquaient que sous la craie du bassin de Londres, les sables verts supérieurs et inférieurs devaient contenir des eaux abondantes. Aux yeux des géologues

les plus célèbres, le bassin crétacé de cette partie de l'Angleterre était aussi favorablement disposé que celui de Paris. La sonde a traversé toute l'épaisseur de la craie qui était terminée à 295^{m}.33. Les sables verts supérieurs, fins et argileux, cessèrent à 299^{m}.39 ; dans cette faible épaisseur de 4^{m}.06 on n'obtint pas d'eaux. Le gault, avec quelques lits sableux, se prolongea jusqu'à 339^{m}.36 ; puis, au lieu de rencontrer les sables verts inférieurs si développés aux affleurements, la sonde n'a rencontré que des successions de sables et de grès rouges non aquifères jusqu'à 400 mètres. Ce terrain assez énigmatique n'a pas encore été jusqu'à présent classé d'une manière certaine. La compagnie pour laquelle ce forage s'exécutait céda son établissement à une autre compagnie qui, n'ayant pas besoin d'eaux, fit cesser les travaux. Les géologues anglais désiraient ardemment leur continuation au point de vue de la science, et sans les événements de Crimée, il est probable que ce puits eût été continué, ou qu'un nouveau forage eût été entrepris dans un des parcs de Londres. Nous donnons la coupe de ce travail, pl. 50, *fig.* 1re.

Dans un étage supérieur, celui qui forme le bassin tertiaire de Londres, on rencontre de nombreuses sources jaillissantes dans l'argile plastique, qui est la même que celle des bassins de Paris, et qui, au lieu d'être recouverte par le calcaire grossier parisien, l'est par une formation qui lui correspond, d'après l'examen des nombreux fossiles qu'elle renferme, et à laquelle on a donné la dénomination d'argile de Londres. Depuis l'ouverture de milliers de forages les eaux, de jaillissantes qu'elles étaient dans le principe, sont devenues simplement ascendantes. Leur niveau décroît successivement sous la succion d'un nombre de plus en plus considérable

de pompes; il se tient aujourd'hui à une assez grande profondeur.

Nous ne citerons pas tous les exemples d'eaux ascendantes et jaillissantes dans les bassins inférieurs du terrain crétacé, mais nous terminerons ce que nous avons à dire de cette formation par un mot sur un essai fait à Rochefort (pl. 46), dans le département de la Charente-Inférieure, et par la description des puits jaillissants de la vallée de la Loire (pl. 48).

Les assises inférieures du terrain crétacé n'ont pas été entièrement traversées par le sondage de Rochefort; il est à regretter que l'on ait manqué de persévérance pour le passage des marnes fétides qui appartiennent probablement à cet étage, et que l'on n'ait pas poussé l'exploration jusque dans la formation oolithique. Les assises sableuses du terrain crétacé ayant leurs affleurements tout près de Rochefort, il était probable que l'on n'obtiendrait pas d'eaux jaillissantes en les traversant; on a cependant rencontré deux niveaux d'eau, mais qui n'ont été indiqués que par une légère ascension. La profondeur des sondages de l'hôpital et du port n'a pas dépassé 110 mètres, et, pour l'atteindre, il a fallu deux ans. Dans des couches offrant les mêmes difficultés, nous atteignons, dans le bassin tertiaire de Paris, la même profondeur en cinquante ou soixante jours. On se rend compte, au surplus, de la lenteur avec laquelle ont marché les travaux de Rochefort, lorsqu'on sait que les forçats seuls y étaient employés comme manœuvres, et qu'ils étaient dirigés par des personnes fort instruites sans doute, mais étrangères aux travaux de sondage.

La planche 48 (Coupes géologiques) donne une idée des ondulations de la craie depuis Orléans, où elle est recouverte

par le terrain tertiaire de la Beauce, jusqu'à Beaufort, où elle repose sur les premières assises du terrain jurassique, lequel recouvre les schistes de transition exploités à Angers; ces sondages offrent des exemples d'eaux jaillissantes ou simplement ascendantes dans les couches du terrain jurassique.

Le sondage de Saumur a donné de l'eau qui se tient en contre-bas du sol, un peu élevé sur ce point, mais elle coulerait à la surface au moyen d'une conduite établie vers un point plus bas.

Il a été question précédemment du sondage de Rochecote, dont les eaux sont employées, comme moteur, à la formation d'un jet au-dessus de la terrasse du château.

Nous ne donnons la coupe que d'un de nos puits forés de Tours, celui de l'abattoir, quoique le volume de ses eaux jaillissantes soit très-faible, comparativement à ceux des puits voisins, mais parce que, dans la descente de la colonne d'ascension, du sol jusque dans la glauconie, une expérience a constaté que les tubes en cuivre, bien conditionnés, sont assez étanches pour que, l'orifice du bas étant hermétiquement bouché, l'eau ne puisse s'introduire à l'intérieur. Une diminution sensible dans le produit de ce puits a néanmoins eu lieu lors du percement, par M. Mulot, du puits de l'hospice, qui a augmenté aux dépens du premier.

La distance de la Ville-aux-Dames à Tours n'est que d'un myriamètre environ, et cependant, dans ce faible parcours, la craie éprouve un relèvement de près de 60 mètres. Les sables et grès verts, ayant suivi cette ondulation, représentent l'allure d'un siphon étendu sur un sol accidenté et dans lequel les eaux circulent en vertu d'un niveau toujours supérieur à celui de l'écoulement.

Le sondage d'Orléans n'a qu'effleuré pour ainsi dire la craie; la rencontre d'un lit de silex cornés, dans lequel on a pénétré de 10 mètres, ayant donné lieu à plusieurs ruptures de tiges, la lenteur avec laquelle s'opérait autrefois la réparation de ces accidents a déterminé l'abandon du sondage.

A Èvres, le terrain crétacé est recouvert par 120 mètres environ de marnes, de sables et de grès, appartenant au terrain tertiaire, et dans lequel on a rencontré une nappe ascendante et deux autres jaillissantes. Le sondage a été poursuivi jusqu'à 191^{m}.66 dans le terrain crétacé, en traversant : 1° 50 mètres de craie avec bancs siliceux et silex purs; 2° 20 mètres d'argiles, de sables et de grès verts ne donnant pas d'eau.

Le sondage de Ferrière donne un second exemple d'insuccès dans cette contrée; la craie y a été rencontrée à 9 mètres; elle a 67 mètres d'épaisseur. Viennent ensuite les argiles et leurs sables, puis les grès verts, jusqu'à 142 mètres, et enfin les marnes du calcaire jurassique explorées jusqu'à 151 mètres.

Jusqu'à présent, on n'a donné aucune bonne raison de l'absence des eaux dans les sables verts d'Èvres et de Ferrière-Larçon. Si la Creuse, en arrosant les sables verts, est la source commune des puits de la Touraine, ce qui n'est pas démontré, Èvres se trouve à une assez grande distance du réservoir et à un niveau assez au-dessous de lui pour que les eaux y soient jaillissantes. Il faut donc attribuer à une faille, à une solution de continuité dans les conduits sableux aquifères, les deux cas d'insuccès dont il s'agit ici.

Ainsi que nous l'avons dit au commencement de ce chapitre, les sources abondent dans les différents étages de la formation jurassique. M. Buvignier, ingénieur à Verdun, ancien élève de l'École polytechnique, et collaborateur de M. Sau-

vage pour les travaux géologiques des départements des Ardennes, de la Meuse et de la Haute-Marne, ayant émis, devant les conseils municipaux de Verdun et de Romagne-sous-les-Côtes (Meuse), l'avis qu'un sondage (pl. 47, *fig.* 1), dans l'une et l'autre de ces deux localités, pourrait amener à la surface du sol des eaux provenant des couches moyennes de la formation jurassique, les travaux commencèrent en 1843, et furent interrompus la même année. Le premier sondage, ouvert dans le coral-rag, fut arrêté à la profondeur de 124 mètres dans l'oxford-clay; celui de Romagne-sous-les-Côtes, ne sortant pas de l'oxford-clay, fut poussé rapidement à 150 mètres, et là il fut interrompu par ordre du conseil municipal, qui ne voulut pas, malgré l'avis de M. Buvignier, voter la modique somme nécessaire pour l'achèvement du forage des argiles, au passage desquelles et du cornbrash, ou de la grande oolithe et du bradford-clay, on aurait sans doute obtenu des eaux jaillissantes.

A la Rochelle, M. Fleuriau de Bellevue, correspondant de l'Académie des sciences, a poussé un sondage près des bains, à près de 200 mètres de profondeur dans le terrain jurassique. Les oscillations des eaux dans le trou de sonde sont assez remarquables et ont attiré l'attention de ce savant, qui a bien voulu nous faire part d'une notice qu'il a écrite à ce sujet, et que nous transcrivons ci-après :

NOTICE *sur des variations singulières dans la hauteur de la colonne d'eau du puits artésien des bains de mer de la Rochelle.*

« Avant de parler de ces variations, nous rappellerons suc-
« cinctement que ce puits foré, qui est situé à 70 mètres du

« bord de la mer, a maintenant (2 février 1834) 559 pieds
« métriques de profondeur, et qu'il a été creusé dans le cal-
« caire argileux de la formation jurassique moyenne ; que
« 60 pieds l'ont été dans une pierre d'un blanc jaunâtre, com-
« pacte, presque lithographique, et 499 dans un banc d'un
« gris bleuâtre, beaucoup plus argileux, dont l'épaisseur nous
« est encore inconnue; qu'enfin ces bancs divisés par de minces
« couches d'argile marneuse sont presque horizontaux.

« Nous ferons aussi remarquer que, depuis quatre ans que
« ce puits avait été entrepris par les soins de M. Gon, membre
« de la Société d'agriculture de cette ville, l'eau qu'il conte-
« nait était restée constamment (à quelques pouces près), jus-
« qu'au 1er août dernier, à 22 pieds au-dessous du niveau du
« sol, hauteur qui est à peu près celle des puits voisins et des
« pleines mers de mortes eaux.

« A cette époque, on recommença à le percer ; on lui donna
« 28 pieds de plus, ce qui porta sa profondeur à 555 pieds.
« Or, le 31, on fut très-surpris de voir qu'une partie des
« tiges qui plongeaient précédemment dans l'eau étaient
« sèches. Le lendemain 1er septembre, les travaux étant sus-
« pendus, on vit que l'eau était descendue de 144 pieds, et
« le 2 cette chute était de 152 pieds.

« Mais le 3, l'eau commença à remonter, et son ascension
« dura pendant un mois, jusqu'au 2 octobre ; elle a été, terme
« moyen, de 6 pieds 1/2 par jour dans la première partie du
« mois, et de 3 pieds 8 pouces seulement dans l'autre. Elle
« revint ainsi précisément à son ancienne hauteur de 22 pieds
« au-dessous du sol.

« Le lendemain 3 octobre, elle recommença à descendre,
« et le 4 elle avait baissé de 29 pieds.

« Le 5, nouvelle ascension jusqu'au 14, qui ne fut en tota-
« lité que de 9 pieds.

« Mais les 14, 15 et 16, l'eau descendit de 93 pieds; le 17
« de 11 pieds, et le 18 de 36; en total, de 140 pieds dans
« cinq jours. Ainsi, la colonne d'eau, qui, avant le 1er août,
« était de 505 pieds, se trouvait réduite de 60 pieds, ou d'un
« tiers de hauteur.

« Le lendemain 19, elle commença à remonter et continua
« régulièrement jusqu'au 13 novembre, où elle se trouva de
« 114 pieds plus élevée que le 18 octobre.

« Puis le jour suivant, 14 novembre, elle s'abaissa de nou-
« veau jusqu'au 16, mais seulement de 14 pieds.

« Enfin, elle remonta immédiatement; son ascension fut,
« dans l'intervalle du 16 novembre au 15 décembre, de
« 42 pieds; mais elle devint ensuite si lente, qu'elle n'a été
« que de 9 pieds dans un mois et demi, jusqu'à aujourd'hui
« (2 février), où elle est parvenue à 6 pieds au-dessus de son
« ancien niveau, et conséquemment à 28 pieds au-dessous
« du sol. »

RÉSUMÉ.

« On voit donc 1° que le mouvement alternatif de l'eau a
« été continuel pendant plus de cinq mois, c'est-à-dire depuis
« la fin des travaux du mois d'août jusqu'à ce jour, et qu'il
« dure encore, quoique faiblement;

« 2° Qu'il s'est manifesté quatre abaissements, dont deux
« ont été si rapides que l'eau est descendue de 38 et 35 pieds
« par jour, tandis que, dans les quatre ascensions, l'eau n'a
« monté au commencement que de 5 à 6 pieds par jour, et
« ensuite que de 3 pieds; il n'y a d'exceptions à cet égard

« qu'à la fin de la dernière ascension ; mais si elle a été beau-
« coup plus lente que les autres, et si les variations ont été alors
« plus rares, tout donne lieu de penser que la principale
« cause en est due aux vases qui se sont successivement accu-
« mulées au fond du puits, et qui l'ont obstrué plus ou moins,
« depuis les 17, 18 et 19 novembre, époque à laquelle on lui
« a donné 4 pieds de plus de profondeur, et où tous les tra-
« vaux ont été suspendus faute de fonds.

« Maintenant, nous prions les hommes experts dans ces
« sortes d'entreprises de vouloir bien nous dire s'ils ont vu
« quelque exemple de pareilles circonstances ; si elles ont été
« ou non le pronostic d'un succès prochain ; si enfin ils pen-
« sent que quelques travaux suffiraient probablement pour
« faire paraître au jour les eaux de cette fontaine intermit-
« tente souterraine.

« On se perd ici en conjectures sur la cause de ces
« bizarres variations. De simples cavités, à 5 ou 600 pieds au-
« dessous du niveau de la mer, ne peuvent suffire pour expli-
« quer cette intermittence ; serait-elle due à des courants sou-
« terrains, dont les puits artésiens nous font chaque jour con-
« naître l'existence ? Les travaux du mois d'août auraient-ils
« mis notre puits en communication, par des fissures de ro-
« cher, avec l'un de ces courants ? Celui-ci soutirerait-il ces
« eaux dans les moments où il est très-rapide, et serait-il sans
« influence sur elles quand il est plus tranquille, en laissant
« alors aux sources ordinaires la faculté de remplir le vide
« qu'il aurait occasionné ? Enfin son voisinage, s'il existe, ne
« nous offrirait-il pas une chance de succès ?

« Nous laissons à d'autres à prononcer, et nous nous bor-
« nerons à leur faire remarquer, de plus, que l'hiver précé-

« dent on avait revêtu d'un tube en fonte de fer les 120 pieds
« supérieurs de ce puits, tant pour empêcher les eaux de se
« perdre à la mer, que pour éviter le mélange des deux eaux,
« mais que ce mélange, quoique fort diminué, est encore sen-
« sible. Enfin, on n'oubliera pas que ce puits est alimenté par
« des sources abondantes, ainsi que nous l'avons fait con-
« naître dans une notice insérée au *Bulletin de la Société*
« *géologique* des mois de mai et de novembre 1830. »

Les phénomènes rapportés par M. Fleuriau de Bellevue sont les mêmes, à notre avis, que ceux qui caractérisent toutes les fontaines intermittentes, du moins celles où l'hydrodynamique joue exclusivement son rôle; celles qui doivent leur intermittence à l'expansion périodique des gaz souterrains doivent être rangées à part.

Concevons une anfractuosité d'une grande étendue dans une masse compacte de roches, et supposons qu'une infinité de fissures, ayant comme elle leur ouverture au dehors, concourent à la remplir d'eaux pluviales; la capacité *f g h i* (*fig.* 127) étant pleine et l'alimentation continuant, l'eau descendra à gueule-bée dans la branche *i* D, qui est bien celle d'un véritable siphon, dont l'autre branche est *i h*. Il se passera donc dans la montagne le phénomène fort simple du siphon proprement dit, c'est-à-dire que l'écoulement de l'eau par l'orifice D continuera aussi longtemps que la seconde branche *i h* sera plongée dans l'eau du réservoir *hh'*, et que le niveau de l'eau dans le réservoir sera toujours au-dessus de l'orifice D. Dans la figure, on voit que le niveau de l'eau dans le réservoir *hh'* pourrait être au-dessus de D, sans que cependant l'écoulement dût continuer, car lorsque ce niveau AB aura dépassé

en dessous le point q, le siphon se désamorcera, parce que le point q qui représente la base de la branche plongée dans le

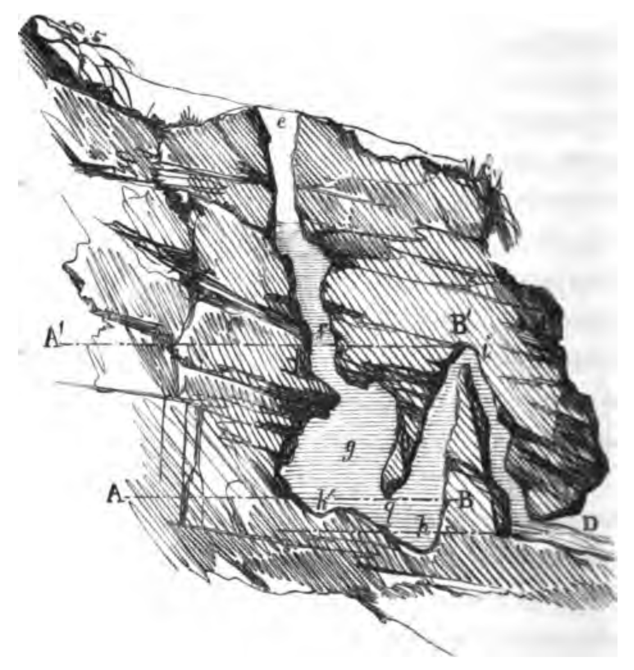


Fig. 127.

liquide n'est pas suffisamment bas, ou le réservoir assez profond. Quoi qu'il en soit, c'est-à-dire que les choses aient lieu comme l'indique la figure, ou qu'elles se passent exactement comme dans le siphon proprement dit, il est certain que l'écoulement s'est produit par l'orifice D pendant un certain laps de temps ; que cet écoulement aurait toujours duré si l'alimentation avait égalé le débit ; mais, au contraire, l'eau ayant successivement baissé dans la conduite $e\,f\,g$, et par suite, l'écoulement ayant subitement cessé en D, il en résulte que, comme primitivement, la branche i D est vide, que pendant un temps

plus ou moins long l'eau sera en contre-bas de A′ B′, niveau de la partie recourbée du siphon, mais, que ne tardant pas à le dépasser, elle descendra de nouveau dans la branche *i* D, pour sortir par l'orifice D, jusqu'à ce que son niveau soit descendu en A *q* B.

Si les fissures d'alimentation remplissent promptement la fontaine, bien que l'ouverture D soit assez grande pour la vider plus promptement encore, les temps d'intermittence seront très-rapprochés.

Si l'alimentation se fait très-lentement, l'ouverture D restant la même, la fontaine intermittente sera à peu près aussi abondante pendant la durée de son écoulement ; mais 1° cette durée sera moindre que dans le cas de l'alimentation rapide, 2° les instants d'interruption seront aussi plus longs.

Enfin, la figure restant la même, mais l'orifice D devenant plus petit et ne pouvant débiter l'eau de la fontaine plus rapidement qu'elle n'y arrive, l'écoulement sera continu.

Supposons maintenant que le puits artésien de la Rochelle, dont vient de parler M. Fleuriau de Bellevue, soit représenté par la partie *e f g* de la figure, et que les eaux qui l'alimentent et qui se tiennent stationnaires à 22 pieds au-dessous du sol, y arrivent par les mêmes fissures ; supposons encore que la branche *i h* de notre espèce de siphon ait 140 à 150 pieds de hauteur, et qu'enfin l'orifice D, que nous avons placé au sol, débouche souterrainement à la profondeur actuelle du puits artésien, et jette les eaux de celui-ci dans un terrain perméable, ou dans des cavernes très-vastes, comme il peut en exister dans la partie du terrain jurassique où le sondage est poussé ; toutes ces hypothèses raisonnables étant, dis-je, établies, le phénomène de l'intermittence dont parle M. Fleuriau

se trouvera naturellement expliqué. Si cette intermittence n'est pas régulière, c'est que les débris du trou de sonde encombrent les issues de l'eau, et empêchent son écoulement constant pendant les périodes où il doit avoir lieu. Si, en second lieu, cette intermittence cesse un jour, c'est que, sans doute, les terrains perméables dans lesquels nous avons supposé que le versement s'effectuait se seront saturés d'eau, ou que, dans l'hypothèse des cavernes, celles-ci se seront remplies. Ce fait doit être aujourd'hui accompli, ou il arrivera indubitablement un instant plus ou moins éloigné où il en sera ainsi.

Jusqu'à présent nous n'avons encore parlé que des eaux contenues : 1° dans les terrains d'alluvions; 2° dans les terrains tertiaires; 3° dans le terrain crétacé; 4° dans les formations jurassiques. Il nous reste à citer quelques exemples relatifs aux terrains liasique, keuprique, houiller et anthraxifère. Le terrain liasique du département des Ardennes est divisé en marnes supérieures, calcaire ferrugineux, marnes moyennes, calcaire sableux, calcaire à gryphites (pl. 47). Le sondage de Donchery, près Sedan, avait pour but la recherche du sel gemme ou du terrain houiller. Il a été ouvert dans les marnes moyennes, dont l'épaisseur est exactement celle qui avait été annoncée par M. Sauvage, alors ingénieur des mines du département. Le calcaire sableux qui vient ensuite est une association de lits d'argiles et de bancs de calcaire à texture grésiforme d'une dureté excessive. Cet étage s'est terminé à 236 mètres; à sa base, on a rencontré des eaux jaillissantes qui ont servi à l'alimentation de la machine à vapeur. La sonde a ensuite attaqué le calcaire à gryphites, dont les dispositions sont, comme le calcaire sableux, une alternance de couches de roches et d'argiles. Cette formation, terminée à 337 mètres,

a donné à sa base une nouvelle nappe jaillissante au-dessus du sol, mais qui, au voisinage d'une petite couche de marnes irisées, a pris une légère salure de 3 grammes par litre. Ce sondage a été poussé jusqu'à 387 mètres, et est arrêté dans les schistes de transition. Ce travail, quoique ayant donné un résultat négatif, a une grande importance, puisque traversant tous les terrains à explorer, il a mis fin à toutes les conjectures que l'on pouvait établir sur les recherches de houille et de sel gemme dans ce département, et aux coûteuses tentatives souvent entreprises dans ce but.

L'existence d'eaux jaillissantes à Donchery fait raisonnablement supposer qu'à Sedan, qui est assez pauvre en fontaines, on en obtiendrait aussi en traversant une partie du calcaire sableux qui forme son sol, et en pénétrant de 30 à 40 mètres dans le calcaire liasique ou à gryphites.

La présence d'eaux extrêmement abondantes dans la formation keuprique, qui suit celle dont nous venons de parler, est suffisamment attestée par les salines nombreuses existantes en France et en Prusse. Le terrain keuprique est composé d'une puissante couche de marnes, que l'on nomme marnes irisées à cause de la diversité de leurs couleurs ; elle renferme, dans sa partie supérieure, des bancs discontinus, irrégulièrement disséminés de calcaire et de strontiane ; sa partie moyenne est caractérisée par de pareils lits d'un calcaire magnésien, alternant avec du gypse (gypse secondaire) et des filons de houille que l'on a quelquefois confondus avec ceux du terrain houiller proprement dit ; enfin, dans la partie inférieure, se trouve encore le gypse accompagné du sel gemme ; celui-ci est exploité en roches, par galeries, dans certaines localités, à Dieuze, par exemple ; mais souvent on l'extrait au

moyen de pompes dont le tuyau d'aspiration descend jusque dans le sel ; les eaux en sont plus ou moins saturées ; et on reproduit le sel par la vaporisation de ces eaux dans de vastes chaudières : c'est le mode le plus généralement suivi aujourd'hui. Souvent, les couches salifères contiennent des sources imprégnées de sel ; lorsqu'elles en sont privées, on y laisse descendre les eaux douces de la partie supérieure de la formation, afin qu'elles s'y saturent de la substance saline ; enfin, les eaux salées provenant des couches de sel gemme sont quelquefois jaillissantes, et les pompes sont alors supprimées.

Nous donnons, comme exemple d'un sondage dans les marnes irisées, celui de Cessingen dans le grand-duché de Luxembourg, bien qu'il n'ait pas amené complétement le résultat cherché, mais parce qu'il a atteint par une profondeur assez considérable un terrain déjà salifère (*voy*. pl. 46).

Le sondage de Cessingen, entrepris pour la recherche du sel gemme ou des sources salées, a été commencé le 6 février 1837 par une société de Bruxelles, sous la direction de MM. Bost et Biver, qui en ont donné la conduite à M. Kind, ancien mineur de Freiberg.

Les travaux ont présenté, à leur origine, peu d'accidents et de difficultés ; quelques ruptures de tiges, et le rétrécissement du diamètre du forage dans les grès du Luxembourg, sont les seules causes du faible retard que l'on a éprouvé dans cette première période.

La seconde période a été plus difficile que la précédente ; les marnes du terrain keuprique et leurs rognons ou blocs de gypse anhydre ont nécessité des tubages difficiles et nombreux ; d'après la coupe (pl. 46), on voit qu'il n'a pas été possible de gagner beaucoup de fond au-dessous de chaque

colonne de garantie, sans être obligé d'en descendre une suivante. M. Jobard, dans sa Notice sur le sondage de Cessingen, ne dit pas que l'on se soit servi d'élargisseurs pour éviter la multiplicité des tubages. Il semble pourtant que dans un pareil terrain, dans des marnes où la force d'adhérence est moindre que dans les argiles, on aurait pu, avec une même colonne, intercepter de plus grandes épaisseurs de couches éboulantes, que celles indiquées dans la coupe du sondage dont il est question.

Il est résulté de cet emboîtement successif de colonnes de garantie une réduction presque subite du diamètre primitif à celui de $0^{m}.11$, et si d'autres causes, indépendantes de l'art, n'étaient venues interrompre les travaux, il est à présumer que les argiles et les gypses anhydres continuant, on aurait été obligé d'abandonner le forage par la seule cause de la trop grande réduction du diamètre. Il est probable que M. Kind se tirerait mieux aujourd'hui de difficultés analogues; mais en tout, et principalement en sondages, on ne perfectionne qu'en pratiquant beaucoup.

Ce forage a, du reste, été mené avec autant de promptitude que possible; car la profondeur de 535 mètres a été atteinte en trois ans et n'a pas été acquise par l'emploi de tiges de sonde de 5 à 7 centimètres de côté, comme à Grenelle, mais bien avec des tiges de fer de $0^{m}.025$ à $0^{m}.03$ seulement, et des tiges de bois équilibrées par une longue pièce de bois faisant ressort, et par la coulisse de M. D'Œynhausen.

Les sources jaillissantes, rencontrées dans le terrain houiller, sont peu nombreuses, non que ses couches schisteuses ne soient de nature à permettre de rapides infiltrations, mais parce qu'étant souvent repliées irrégulièrement dans des es-

paces peu étendus, elles ne peuvent renfermer généralement des réservoirs analogues à ceux des formations supérieures. Les galeries des mines offrent divers exemples du passage des eaux à travers les couches schisteuses; si ces couches n'éprouvaient pas de solution de continuité, si, partant de lignes élevées, elles se relevaient en sens opposés de manière à affecter la forme d'une masse concave fermée vers tous ses bords, il n'est pas douteux que les eaux qui affluent dans certaines mines seraient jaillissantes si on leur laissait prendre leur niveau dans les puits d'exploitation.

Dans son journal des travaux de sondage dans la Russie méridionale pour le compte de M. de Demidoff, notre directeur, M. Ayraud, consigne un exemple d'eaux jaillissantes dans le terrain anthraxifère. La planche 47 donne la coupe du sondage dans lequel les eaux se sont élevées au-dessus du sol: elles provenaient d'une couche de schiste argileux dont les éboulements, dus précisément à la présence de la nappe, donnèrent lieu à un tubage que n'ont pas nécessité les autres trous de sonde pratiqués dans ce pays et dans des couches analogues à celles traversées par ce sondage.

Les puits jaillissants de Lille (Nord), dont nous avons déjà parlé, de l'hôpital militaire, ceux de l'Esplanade et de l'hospice général, sont des exemples de réservoir d'eaux dans le terrain de transition; mais nous devons dire, pour ne pas donner lieu à des recherches hasardées dans cette formation, que les succès de Lille sont probablement particuliers à la localité, et qu'à une distance peu notable de ce point, il pourrait arriver que l'on rencontrât la même succession de couches et le calcaire carbonifère, mais non les eaux que ce dernier renferme à Lille et aux environs, attendu que le terrain de transition a subi

les mêmes tourmentes que le terrain houiller ou anthraxifère qui lui est postérieur, et que, par conséquent, les eaux doivent y être très-capricieusement dispersées. (*Voir* la planche 45.)

Nous n'avons pas d'exemples d'eaux jaillissantes dans le terrain primitif; nous prions le lecteur de se reporter au commencement de ce chapitre pour ce que nous avons dit à ce sujet.

CHAPITRE V

INSTRUMENTS DE PRÉCISION

Les opérations préalables à faire sur le terrain pour déterminer l'emplacement d'un sondage, ou pour reconnaître si ce point choisi à l'avance se trouve dans des conditions rationnelles, sont quelquefois peu compliquées, mais elles sont toujours de la plus grande importance ; il y a peu de sondages qui puissent être entrepris avec sécurité, sans que l'on soit obligé d'en observer avec soin la position par rapport aux lieux environnants. Souvent, les opérations du sondeur pour cet objet se réduisent à fort peu de chose, parce qu'avant lui la topographie et la géologie des contrées qu'il se dispose à explorer ont été faites. Dans les départements de Seine-et-Oise, Seine-et-Marne, par exemple, il n'a d'autre note à prendre que la hauteur du point donné, relativement à des niveaux conventionnels, tels que ceux des rivières et de la mer. Il a rarement besoin de mesurer l'allure des couches de cette contrée, parce que la description des terrains tertiaires qui les composent a été détaillée et accompagnée de bonnes cartes, avec coupes dans différentes directions. Il en est de même des départements de l'Aisne, des Ardennes, de la Marne, du Nord, de la

Haute-Saône, etc., etc. Néanmoins, dans ces derniers, il sera fréquemment dans la nécessité de se livrer à des observations minutieuses, parce que ses recherches ne s'y borneront pas à découvrir des eaux souterraines, mais auront encore souvent pour but la découverte des mines.

En France, comme guide général, la grande carte géologique dressée par MM. Dufrenoy et Élie de Beaumont constitue le monument le plus complet mis à la disposition du sondeur; avec l'œuvre si consciencieuse de ces deux illustres savants et les cartes détaillées que le dépôt de la guerre fait exécuter, on peut, presque sans autres guides, donner la plupart des renseignements qui sont nécessaires.

Partout où des documents semblables existent, et c'est encore rare, il suffit donc d'un simple nivellement de l'un des points cotés au lieu où l'on veut opérer pour se rendre compte de sa hauteur au-dessus du niveau de la mer.

Les propriétaires avoisinant les points où des résultats ont déjà été obtenus n'ont, pour être fixés, qu'à faire un nivellement comparatif entre le point où ils veulent forer et celui qui se rapproche le plus de leur localité.

Les planches 42 et 43 donnent les coupes géologiques des deux vallées de la Seine et de la Marne, dressées d'après les sondages que nous avons exécutés. Une ligne noire indique le niveau de la mer, des lignes brisées les étiages des deux rivières, et des lignes ponctuées les hauteurs auxquelles les eaux se sont élevées.

Lorsqu'il s'agit d'étudier soit l'allure des nappes aquifères, soit celle des couches minérales que l'on se propose de rechercher, dans un pays privé des ressources qu'offrent les documents que nous venons de citer, il faut donc faire les opérations néces-

saires pour se rendre compte aussi exactement que possible des différents niveaux qu'elles occupent, surtout en certains points de leur parcours. Il est donc nécessaire d'établir tout d'abord la topographie du pays, si elle n'existe pas, et sur des courbes de niveau équidistantes indiquer géologiquement les affleurements des roches qui se présentent ; on a ainsi une idée de la puissance des formations en tel ou tel lieu, par la direction et l'inclinaison qu'elles affectent aux affleurements. Pour la recherche des eaux, par exemple, on mesure la hauteur où se trouvent les affleurements des terrains perméables qui peuvent recevoir et contenir les eaux entre deux couches imperméables. Selon cette hauteur et la différence qui existe entre elle et le point qu'il s'agit de perforer, on comprend que l'on pourra se faire une idée approximative de la pression hydrostatique à laquelle les eaux seront soumises en ce point et en d'autres du bassin, dont elles occupent tout ou partie de la superficie. On devra se rendre également compte des niveaux où des sources naturelles surgissent de cette nappe, des coupures plus ou moins profondes pouvant modifier sa marche en l'interrompant, et des points inférieurs par lesquels les eaux peuvent s'échapper librement. S'il s'agissait d'un gisement minéral, cette étude sur l'allure des couches serait la même ; elle indiquerait approximativement le point où les travaux seraient les moins profonds, tout en s'éloignant cependant assez des affleurements pour que la matière recherchée ait suffisamment pu prendre de développement, les soulèvements et les failles qui pourraient affecter sa marche régulière, etc.

Ces études spéciales sont souvent faites par les ingénieurs locaux auxquels on peut en tout cas s'adresser pour obtenir

les renseignements les plus importants sur les recherches que l'on se propose de tenter. Ces utiles renseignements se trouvent encore assez souvent dans les descriptions scientifiques dont le pays a été l'objet. Dans le cas où ces ressources lui manquent et où il ne peut se les procurer, le sondeur doit être à même de les obtenir par lui-même. C'est pour cela que nous joignons ici, comme guide ou mémento, la description et l'usage des principaux instruments topographiques employés à cet usage.

NIVEAU D'EAU.

Tout le monde sait aujourd'hui faire un nivellement simple avec le niveau d'eau, tube horizontal, terminé par deux fioles qui lui sont perpendiculaires et dans lesquelles l'eau se met en équilibre; cet instrument est mobile sur un pied à trois branches analogue à celui de différents instruments de topographie, tels que boussole, graphomètre, etc. Les hauteurs de niveau se déterminent par le plan horizontal tangent aux surfaces du liquide en repos, dans les deux fioles que l'on a soin de tenir propres. Ce plan se prolonge grâce au rayon visuel, et rencontre ainsi le centre d'une mire, mobile à volonté sur une règle double graduée. Le point déterminé par le centre de la mire est dit alors de niveau avec la surface du liquide.

La hauteur d'un point au-dessus de tel autre qui en est peu éloigné s'évalue par une seule station, c'est-à-dire par deux coups de niveau. Lorsque les distances dépassent 30 mètres, on doit faire plusieurs stations, si l'on tient à ne pas commettre d'erreur sensible dans l'estimation de la hauteur cherchée. Dans le premier cas, on obtient la différence de hauteur

entre les deux points considérés, en retranchant l'un de l'autre les deux nombres indiqués par la mire; dans le nivellement à plusieurs stations, on fait la somme des coups d'avant et celle des coups d'arrière; leur différence donne la relation cherchée entre le point de départ et celui sur lequel on s'est dirigé. Si le nivellement est très-long, on évitera de tenir compte de la courbure de la terre en faisant les coups de niveau d'arrière et d'avant à des distances égales.

Avant de se servir d'un niveau d'eau, il faut le remplir et le vider une couple de fois, afin d'éviter les erreurs que peut amener la présence de quelques bulles d'air dans la branche horizontale. Pour changer de position avec commodité, on doit munir les fioles de bouchons de liége attachés à leur col; on peut n'en boucher qu'une; le plus souvent, cela suffit pour empêcher l'eau de sortir par celle opposée. Arrivé à la station, l'on débouche la fiole avec précaution; si l'air est calme, on laisse les orifices tout à fait ouverts; s'il fait beaucoup de vent, et que l'on veuille absolument terminer une opération, que du reste on devrait autant que possible ajourner à meilleur temps, on bouchera celle des fioles que l'on touche pour manœuvrer l'instrument, mais de manière, bien entendu, à laisser agir sur le liquide la pression atmosphérique. Le vent n'a plus alors d'action sur la surface du liquide et l'on peut opérer. Au lieu de la fermeture des fioles, on peut, si l'on a des aides, garantir l'instrument par un mouchoir, un vêtement, etc. Mais le moyen qui donne les plus grandes facilités pour le transport et pour garantir de l'action du vent pendant l'opération, consiste à relier par un tube en caoutchouc les deux orifices des fioles.

NIVEAU A BULLE D'AIR.

Le niveau à bulle d'air consiste en un tube de verre à peu près cylindrique, de 15 à 40 centimètres de longueur. Ce tube, que l'on remplit en partie d'eau ou d'alcool, en y laissant circuler une bulle d'air, présente en son milieu et dans le sens de sa longueur une faible courbure obtenue par un léger rodage à l'intérieur. Il est enfermé dans une garniture en laiton qui le laisse à découvert en son milieu, qui est aussi le point le plus élevé, sur le tiers ou la moitié de sa longueur. Cette garniture est fixée sur un plan, en cuivre, bien dressé et tel que, quand il est horizontal, la bulle d'air, en s'élevant le plus haut possible, vient occuper le milieu du tube, indiqué, du reste, par deux points de repère qui doivent coïncider avec les deux extrémités de la bulle. L'instrument, à cet état de simplicité, est communément employé dans les arts pour la mise de niveau des différentes surfaces; on l'emploie en mécanique pour l'établissement des axes de transmission de mouvement et d'autres pièces importantes; les fabricants de billards s'en servent pour dresser les tables de jeu, etc. Enfin, il est d'une grande utilité pour les nivellements sur le terrain; mais alors la règle de cuivre, dont il est question précédemment, est assujettie sur une autre surface que l'on élève ou abaisse, au moyen de vis de rappel, pour fixer la bulle d'air dans la position de l'horizontalité. Latéralement au tube, une lunette d'observation se meut dans un plan vertical autour d'un axe fixé sur le tube.

L'avantage de cet instrument sur le précédent consiste en une exactitude beaucoup plus grande, et en ce que la lunette permet, en les éloignant, de diminuer le nombre des stations.

NIVEAU A RÉFLEXION DE M. BUREL,

MODIFIÉ PAR M. LEBLANC, COMMANDANT DU GÉNIE.

Le comité du génie et la Société d'encouragement ont décerné, en 1829, des prix à l'inventeur de ce niveau, qui, après avoir subi plusieurs modifications, a été décrit dans le *Mémorial de l'Officier du génie*, en 1844. Les avantages qu'on a reconnus à cet instrument sont dus :

1° A la simplicité de son exécution et de sa rectification ;

2° A la longueur de sa ligne de mire ;

3° A la célérité de sa manœuvre, qui peut se faire même à la main et sans qu'il soit placé sur un pied ;

4° A son petit volume, propriété précieuse dans les reconnaissances.

Description de l'instrument.

Ce niveau est construit d'après ce principe : que la ligne AA, (*fig.* 1, pl. 57), qui joint le centre de l'œil et le centre de son image, est horizontale toutes les fois que le miroir est vertical.

L'instrument consiste en un petit pendule C (*fig.* 1 et 3), portant un miroir B, qui se tient naturellement vertical en tournant autour de l'axe horizontal D, par le moyen d'un simple ruban. Un chapeau E (*fig.* 2) s'adapte au tube F, recouvre l'instrument et l'abrite du vent ; le tube F porte une fenêtre KK, par laquelle on regarde le miroir ; cette fenêtre se ferme quand on tourne un second tube G. Un bouchon H ferme le tube F par en bas.

Pour niveler, on retire le bouchon H, on ouvre la fe-

nêtre K K, et en regardant dans le miroir, on amène l'image de la prunelle sur son bord, de manière à la mettre en coïncidence avec l'objet vers lequel on mire.

Pour les nivellements rigoureux on opère en posant l'instrument sur un pied. Les résultats ainsi obtenus ont été compris, pour l'exactitude, entre ceux donnés par un niveau à bulle d'air et ceux donnés par le niveau d'eau. (Expériences faites à Lyon par ordre de M. le lieutenant général Rohault de Fleury, qui, le premier, avait eu l'idée d'appliquer aux niveaux le principe de la réflexion.)

Pour les nivellements approximatifs, il suffit de tenir le tube à la main.

Les premiers niveaux avaient une double suspension; on a reconnu qu'une seule suffisait. Ils portaient au milieu du miroir une ligne horizontale; cette ligne a été reconnue embarrassante, surtout dans les nivellements à la main; elle assujettissait à y maintenir l'image de l'œil, opération assez difficile; bien des personnes l'oubliaient, miraient seulement sur cette horizontale et n'obtenaient qu'une ligne de mire inclinée.

M. Burel a approuvé toutes ces modifications.

Rectification de l'instrument.

Le miroir B (*fig.* 1 et 3) est étamé moitié sur une face, moitié sur l'autre. Il résulte de cette disposition que l'instrument est à retournement, et que, s'il est bien réglé, on doit obtenir le même pointé, en visant avec l'une ou l'autre des faces du miroir; cette disposition rend très-facile la rectification de l'instrument, et permet de vérifier à chaque instant s'il est bien réglé.

S'il ne l'était pas, on le rectifierait en tournant, en avant ou en arrière, la vis L, qui appuie sur le miroir et en change l'inclinaison.

Ce mode de rectification suppose les deux faces du miroir parallèles. On sait que le fabricant obtient facilement ce parallélisme, qui est vérifié avant de livrer l'instrument, et ne peut plus se déranger. C'est à M. de la Vatoublère, ancien lieutenant de sapeurs, qu'on doit le principe de cette rectification.

MESURE ET TRACÉ DES PENTES.

Pour rendre cet instrument susceptible de mesurer ou de tracer des pentes, on introduit dans le trou M du pendule C une tige J munie d'une tête pesante I (*fig.* 1). Le miroir prend une position inclinée, et la tangente trigonométrique de l'angle de pente cherché est proportionnelle à la distance du centre de gravité de la tige pesante au miroir.

La division du tube J est fondée sur la démonstration suivante, due à M. le capitaine du génie Goulier.

Une tige pesante O P (*fig.* 10) est suspendue au point O. Son centre de gravité est en A. Sous l'action de la pesanteur, cette tige est verticalement en équilibre.

Imaginons au point A, faisant un angle droit avec O P, une autre tige A B qui lui est fixée d'une manière quelconque; supposons le centre de gravité de cette seconde tige en B, quelle sera la position d'équilibre du système?

Soient p, p' les poids des deux tiges appliqués en A et B; leur résultante $p + p'$ passe au point G de la ligne A B déterminé par la relation :

$$\frac{GB}{AG} = \frac{p}{p'}.$$

Le système, sous l'action de la force $p+p'$, tournera autour du point O, jusqu'à ce que G soit venu en G' sur la verticale passant par le point O.

Déterminons maintenant l'angle φ :

On tire de la relation $\frac{GB + AG}{AG} = \frac{p+p'}{p'}$ ou $\frac{AB}{AG} = \frac{p+p'}{p'}$

Or A'G est la tangente trigonométrique de l'angle φ, donc $AG = R \text{ tang.}\varphi$, de là $\text{tang.}\varphi = \frac{AB}{R} \times \frac{p'}{p+p'}$

Mais $\frac{p'}{R(p+p')}$ est une quantité constante K, donc $\text{tang.}\varphi = AB \times K$. Tang.$\varphi$ est donc proportionnelle à AB.

Si la tige A B est divisée en parties égales, on aura la mesure de tang.φ.

Pour effectuer la division de la tige, on déterminera directement la tangente d'un angle φ; on introduira cette valeur dans l'équation; de là on déduira le nombre de divisions correspondant à cette valeur particulière de l'angle. On n'aura plus qu'à continuer la division sur la tige.

Maintenant veut-on prendre l'angle d'un plan avec l'horizon; on enfonce plus ou moins la tige; le miroir s'incline, et lorsque l'œil voit son image coïncider avec l'objet visé sur la ligne de pente, le miroir est perpendiculaire à la pente. L'angle du miroir avec la verticale (l'angle φ) égale donc et sert à mesurer l'angle du plan incliné avec l'horizon.

Comme le pendule à miroir est incliné pendant l'observation, on doit tenir aussi incliné le tube F, qui contient tout l'appareil. Si celui-ci est monté sur un pied, le pied doit être muni d'un genou T en bois (*fig.* 4), qui s'adapte au tube F; ou d'un genou en cuivre T' (*fig.* 5), qui s'adapte au bouchon H.

Quand on a à mesurer une pente dont la tangente dépasse la longueur de la tige J, on tire le cylindre plein I, et on se sert du second numérotage du tube J. Les divisions se lisent à l'extrémité du tube M', qu'on adapte à volonté au pendule. Il faut avoir soin de le visser du côté de la vis L, et d'introduire le tube J dans le tube M' du même côté. Les pentes montantes s'observent toujours sur la face du miroir correspondant à la vis L, les pentes descendantes sur la face opposée ; si donc, après avoir observé une pente montante, on veut en observer une descendante, on dévisse M', on amène la face opposée du miroir sur le devant, et on revisse M' par le côté de la vis L.

Il va sans dire que l'axe D doit être horizontal, pour que le ruban auquel est suspendu le miroir, et, par suite, tout le système tourne librement sous l'action de la tige. Ce résultat était obtenu d'abord par une suspension à la Cardan ; mais on a remarqué qu'en tenant l'instrument à la main, son poids suffit à faire mouvoir l'appareil dans un plan vertical. On se trouve ainsi dans les conditions d'exactitude voulues.

NIVEAU RÉDUIT AU PENDULE A MIROIR ET A SON AXE (*fig.* 3).

Suivant le conseil de M. le lieutenant général de Fleury, on réduit l'instrument à sa plus simple expression en ne conservant que le pendule C, avec son miroir B et son axe ; dans cet état, il est encore très-propre à opérer à la main, même à prendre des pentes ; mais il offre plus de prise au vent, et il ne peut se poser sur un pied qu'au moyen d'un piton qu'on a fixé au pied d'un côté, et qu'on passe de l'autre dans un petit cylindre placé pour cela à la partie supérieure du niveau. Ce petit cylindre n'est pas représenté sur la figure 3.

NIVEAU SERVANT DE GONIOMÈTRE.

La base du tube F (*fig.* 1 et 2) peut se diviser facilement de cinq en cinq degrés, et une partie correspondante du genou T (*fig.* 4), garnie en cuivre, fait les fonctions de vernier.

Lorsque l'instrument est établi sur un pied, cette disposition permet de s'en servir pour mesurer les angles horizontaux à un demi-degré près. C'est la ligne formée par l'œil et son image qui sert d'alidade. Elle est fort précise. Il est à regretter que le cercle divisé ne puisse l'être autant, à cause de son peu de grandeur. Cette disposition n'a pas été exécutée, et n'est indiquée ni sur le genou (*fig.* 4) ni sur l'instrument (*fig.* 2).

Le niveau complet coûte 35 francs; réduit au pendule à miroir, il ne coûte que 15 francs; avec le tube F, il en coûte 18. C'est ainsi qu'il convient le mieux de l'acheter. On peut d'ailleurs se procurer d'abord les niveaux de 15 ou de 18 francs, et demander plus tard la tige propre à mesurer les pentes; mais il faut que le mécanicien ait l'instrument pour diviser la tige J.

BOUSSOLE.

BOUSSOLE DE RECONNAISSANCE POUR LES MILITAIRES, LES VOYAGEURS, LES GÉOLOGUES, ETC.

Tout voyageur qui explore un pays doit être muni d'une boussole portative pour s'orienter quand il ne voit pas le soleil ou les étoiles; pour qu'elle soit complète, il faut qu'il puisse, non-seulement s'en servir à la main, mais encore la placer sur un pied pour observer des angles horizontaux. Elle doit aussi,

à l'occasion, se placer sur une petite planchette M (*fig.* 7 et 8), pour l'orienter, au moyen de petites coches *d*, qu'on aligne sur les carreaux du plan.

La boussole que nous présentons paraît satisfaire à toutes ces conditions; elle a la forme d'une montre, ce qui est généralement adopté pour cette sorte d'instrument; elle contient le petit pendule P, déjà en usage pour observer les angles verticaux.

Voici en quoi consistent les additions qu'on y a faites :

1° Une petite partie plate *bb* a été fixée sur le côté; elle sert à mirer pour prendre des angles horizontaux ou verticaux. Pour ces derniers, elle présente surtout de l'avantage quand l'observateur veut prendre des pentes qui n'aboutissent pas à son œil, comme serait la silhouette d'une montagne éloignée;

2° Le dessous de la boussole a été percé d'un trou à vis C (*fig.* 7), destiné à la fixer à une planchette au moyen de la vis *d*, ou sur un pied, au moyen du genou T' (*fig.* 5), pareil à celui décrit pour le niveau Burel. Ils s'attachent à la boussole comme une clef à une montre;

3° Un petit miroir A, étamé moitié sur une face, moitié sur l'autre, et mobile autour d'une charnière F (*fig.* 7 et 8), est adapté au-dessus de la queue de la boussole. Ce petit miroir peut servir d'alidade à réflexion quand la boussole est sur un pied, et même quand on opère à la main.

La boussole étant sur un pied, on mire les angles plongeants par la partie supérieure du miroir, les angles descendants par la partie inférieure.

Quand on tient la boussole à la main, l'œil, placé au-dessus du limbe pour mirer les angles plongeants, peut en même temps lire le degré marqué par l'aiguille; mais, pour les angles

montants, l'œil, placé au-dessous de la boussole pour mirer dans le revers du miroir A, ne pourrait plus voir les degrés. Pour remédier à cet inconvénient, M. le capitaine d'état-major Hossard a imaginé d'étamer une portion A′ du verre de la boussole; on peut alors voir l'image de la prunelle dans le miroir A′, et la mettre en coïncidence dans un même plan vertical avec l'image du point à viser réfléchie dans le miroir A. Quand les plans perpendiculaires à A et à A′ coïncident, ils forment un plan perpendiculaire à la charnière F, et, par conséquent, une nouvelle alidade à réflexion, qui est telle que, le point que l'on mire étant placé au-dessus de l'œil, celui-ci peut cependant être en même temps au-dessus de la boussole, et lire les degrés marqués par l'aiguille. Une petite partie plate en mica *g*, adaptée à l'extrémité de l'aiguille de la boussole, permet, en l'inclinant un peu, d'exercer un frottement contre le limbe, et d'arrêter les oscillations. C'est à M. de Cossigny, ingénieur des mines, qu'on doit l'idée de l'emploi de cette plaque.

Le miroir A étant étamé sur deux faces, comme ceux du niveau Burel, transforme au besoin la boussole en niveau. Pour cela, il suffit d'adapter à la queue de la boussole une petite vis, contre laquelle le miroir appuie, et qui sert à régler la verticalité du miroir quand on suspend la boussole par un cordon HH (*fig.* 7 et 8). Ce même cordon, traversant en H, sur la partie opposée de la boussole, permet de la suspendre à une ficelle tendue, et de la faire servir ainsi à prendre des directions dans les mines. Cette boussole coûte 55 francs.

LUNETTE.

LUNETTE DE RECONNAISSANCE AVEC SUPPORT ET MICROMÈTRE POUR LA DÉTERMINATION DES DISTANCES.

Après s'être procuré un niveau et une boussole, il reste à avoir un troisième instrument non moins utile : c'est une lunette, non-seulement pour distinguer les objets de loin, mais encore pour faire des déterminations de distances, en ajoutant un micromètre à son foyer. Pour la rendre portative et claire, on fait mieux de se contenter d'une lunette qui retourne les objets; cela n'a aucun inconvénient pour les personnes habituées à se servir des lunettes d'instruments et devient bientôt facile pour les autres. Un petit micromètre, gravé sur gélatine, où le millimètre est divisé en 8 ou 10, suffit pour faire avec assez de précision des déterminations de distances au moyen de la formule $X = \frac{H}{h} \varphi \times 100$, dans laquelle X est la distance d'un objet à l'objectif; H la grandeur de l'objet; h le nombre de divisions qu'il intercepte sur le micromètre; φ un coefficient constant, déterminé par une expérience dans laquelle on connaît X, H et h. C'est la distance focale de l'objectif, mesurée en parties du micromètre. La formule $X = \frac{H}{h} \varphi \times 100$ est inscrite dans le couvercle des lunettes avec la valeur de φ qui varie de 11 à 12.

On trouve aussi dans le couvercle des lunettes une autre formule $X = \frac{ac.h'}{h'-h}$ relative au cas où, H étant inconnu, on

fait deux observations successives, h et h', à une distance ac de l'objet. Les divisions du micromètre sont réunies de cinq en cinq, par une petite barre, pour en rendre la lecture plus facile; la figure 9 montre l'apparence de ce micromètre. Il y en a un horizontal et un vertical, ce qui permet de dessiner sur du papier à carreaux la portion d'un paysage comprise dans le champ de la lunette.

Pour bien faire une observation avec une lunette, il faut pouvoir la fixer. On y parvient facilement au moyen d'une vrille, qui est reliée à la lunette par un mouvement de charnière comme celui des têtes de compas (*fig.* 6).

La vrille se fixe à un pied, à un arbre, etc.; la lunette peut être dirigée sur le point qu'on veut. On trouve, au prix de 35 francs, des lunettes qui répondent à toutes ces conditions, et qui sont exactement de la grandeur du niveau Burel; on peut d'ailleurs adapter la vrille et le micromètre à une lunette ordinaire qui redresse les objets.

L'idée d'adapter un support et un micromètre aux lunettes de poche n'est pas nouvelle. Dès 1808, M. Burel, avec cet esprit ingénieux qu'on lui connaît, avait adapté un micromètre à sa lunette d'armée, et faisait avec elle des déterminations de distance en mirant sur des hommes. Son micromètre consistait en une épingle filetée; les pas de vis de l'épingle lui servaient de divisions; c'était un micromètre improvisé. Son support de lunette était son mouchoir ou une corde, avec quoi il l'assujettissait à un jalon.

BAROMÈTRES.

Depuis les expériences de Pascal et bien que le baromètre soit un instrument très-fragile et par suite peu commode à transporter, il est cependant celui qui est le plus généralement employé pour ces opérations délicates qui ont pour but de mesurer assez exactement les hauteurs. Nous verrons plus loin que des tentatives plus ou moins heureuses ont été faites pour le remplacer, et que bientôt peut-être d'habiles constructeurs seront en mesure de fournir des instruments très-justes, peu fragiles et peu volumineux.

Bien que le baromètre à mercure ait subi de nombreuses modifications, que plusieurs systèmes très-ingénieux aient été imaginés par Fortin, Deluc, Gœdeking, Henri Englefield, Auguste, Walferdin, etc., pour le rendre plus transportable, celui de Gay-Lussac, construit d'abord par Bunten, et aujourd'hui par M. Dutrou, son habile successeur, semble jouir jusqu'à présent du privilége presque exclusif d'accompagner les voyageurs.

Il se compose, comme l'indique la figure 1re, planche 57, d'un tube recourbé, dont la grande branche est, à proprement parler, le tube barométrique, et la petite la cuvette. Ces deux branches sont réunies en A par une portion de tube étranglée s'opposant à tout mouvement brusque du mercure, et par suite à la rupture du tube. La branche formant cuvette reçoit la pression atmosphérique par une petite ouverture O se terminant par une pointe capillaire plongeant de haut en bas (*fig.* 3).

Une autre pointe capillaire, dirigée également de haut en bas, est placée dans la colonne barométrique vers le point B:

elle s'oppose au passage de l'air dans la partie supérieure de l'instrument. Si, par impossible, une circonstance particulière venait à favoriser l'introduction d'une bulle d'air de ce côté, au lieu de monter dans la chambre barométrique, elle s'arrêterait ainsi en B, où sa présence aurait peu d'inconvénient (*fig.* 4).

Ces dispositions ont été adoptées en prévision du transport; en effet, voici ce qui se passe lorsque cet instrument doit être placé dans son étui, où il occupe une position inverse de celle de la figure 1re et indiquée par la figure 2. (Il est inutile d'observer que les mouvements que l'on fait subir à l'instrument doivent être lents et exempts de tous chocs.) En renversant le baromètre, le mercure de la cuvette vient remplir complétement la grande branche, en vertu du vide complet qui doit exister, et s'y maintenir par cette cause d'abord, et ensuite par l'effet du rétrécissement très-prononcé du tube en A. Quelquefois une petite portion du mercure en excès dans la cuvette vient tomber en C (*fig.* 2) sans pouvoir s'échapper par le trou d'air, sa disposition permettant bien à l'air d'entrer, mais non au mercure de sortir.

Ce baromètre ainsi construit est renfermé dans un tube en laiton disposé de façon à laisser voir par deux fentes longitudinales les deux parties essentielles du tube et de la cuvette dans lesquelles se meut le mercure.

Ces deux parties sont garnies chacune d'un vernier indiquant les dixièmes de millimètre et portant deux plaques, l'une en avant et l'autre en arrière du tube, pour servir à l'observateur de repère au rayon visuel, qui doit être tangent à la convexité de la colonne de mercure. Les deux verniers glissent sur deux échelles : l'une partant du bas et s'élevant

vers le haut, l'autre commençant en haut pour descendre vers le bas. L'addition des chiffres donnés par ces deux échelles indique la hauteur de la colonne barométrique.

Il serait à désirer que le baromètre de Gay-Lussac n'admît jamais dans sa construction des tubes ayant moins d'un centimètre de diamètre intérieur.

Chaque baromètre doit être accompagné de deux thermomètres, dont l'un, adhérant à la monture même de l'instrument, doit avoir sa boule gardée du contact de l'air, de manière à donner aussi exactement que possible la température du mercure dans le tube. Ainsi réunis, ces deux instruments, renfermés dans le même étui, sont transportés de stations en stations, toujours soumis aux mêmes influences.

Lorsque le baromètre devra être sorti de son étui pour une observation, on le renversera avec précaution, puis, le berçant lentement, on fera jouer le mercure de manière à ce qu'il vienne toucher le sommet du tube où il doit faire marteau, c'est-à-dire faire entendre un petit bruit sec. On le suspendra alors soit le long d'un tronc d'arbre ou d'un rocher à l'aide d'un clou, soit à un bâton muni d'un crochet. Le baromètre une fois suspendu, il sera toujours bon de frapper légèrement de petits coups répétés sur la monture, afin de rompre l'adhérence du mercure au verre et d'affaiblir ainsi les effets de la capillarité, effets très-sensibles lorsque les tubes sont de petit diamètre.

On devra laisser l'instrument au repos environ au moins une demi-heure, et autant que possible à l'abri du soleil, de manière à ce que tout l'ensemble ait pris une température uniforme, ce qui n'a pas lieu lorsqu'il a été porté longtemps à la main ou sur le dos. Négliger cette précaution avant de

faire son observation serait s'exposer par ce seul fait à des erreurs très-grandes; c'est donc un point capital à observer, et tout aussi important que de bien lire la longueur de la colonne de mercure. Dans le cas où, trop pressé, on n'aurait pas le temps d'attendre, il faudrait lire la température du mercure juste au moment de la sortie de l'étui, et procéder au plus vite à la mesure de la colonne barométrique. L'opération ainsi faite sera toujours entachée de doute.

La hauteur à laquelle s'élève le mercure dans le tube dépend non-seulement de la pression atmosphérique, mais encore de la température qui, faisant varier sa densité, en exige une plus ou moins grande hauteur pour faire équilibre à cette pression; on comprend qu'on doit tenir compte de cette cause d'erreur, afin de faire la correction, souvent très-grande, de l'échelle barométrique.

Un second thermomètre est destiné à donner la température de l'air extérieur; il doit en conséquence être entièrement nu et très-sensible; un fil solide en soie, qu'il porte à son extrémité, sert à le tenir et à le faire tourner en fronde autour de la main. L'observateur, pour accomplir cette petite manœuvre, doit tenir l'instrument éloigné de lui, du sol, surtout s'il est blanc, ou de tout autre objet pouvant l'influencer par sa réverbération ou son rayonnement; il devra le tenir à l'ombre de son corps, ou faire tendre un mouchoir ou tout autre objet à distance, projetant son ombre sur lui. Deux ou trois minutes suffisent pour amener l'expérience à un chiffre exact.

Deux observations barométriques doivent être faites simultanément, l'une en un point fixe dont la hauteur est connue, et qui doit être aussi rapproché que possible, afin d'éviter l'effet

des variations atmosphériques, et l'autre au point dont on désire connaître la hauteur. Les observations ne sont généralement admissibles que lorsque l'atmosphère n'est pas agitée par de grands vents.

Il faut donc, pour ces opérations, être pourvu de deux baromètres accompagnés de leurs thermomètres, et que ces instruments bien réglés concordent entre eux, ou que leur différence soit consignée.

Pour le calcul des observations barométriques, et des corrections nécessaires pour trouver la hauteur correspondante due au degré de dilatation du mercure, des tables ont été dressées par Oltmanns : elles ont servi à calculer les observations de de Humboldt en Amérique, et sont reproduites dans l'*Annuaire du bureau des longitudes*. Nous les transcrivons parce qu'elles sont réputées les plus commodes de toutes celles qui ont été publiées, lorsqu'on renonce à l'usage des logarithmes.

Elles sont précédées d'une explication et du type du calcul à faire.

Voici la marche des opérations.

Soit h la hauteur barométrique de la station inférieure, exprimée en millimètres; h' celle de la station supérieure; T et T' les températures centigrades des baromètres; t et t' celles de l'air.

On cherche dans la *première table* le nombre qui correspond à h : appelons-le a; on cherche de même celui qui correspond à h', désignons-le par la lettre b; appelons c le nombre généralement très-petit qui, dans la *deuxième table*, est en face de $T-T'$; la hauteur approchée sera $a-b-c$. Si $T-T$ était négatif, elle serait $a-b+c$. Pour appliquer à cette hauteur approchée la correction dépendante de la température des

couches d'air, on multipliera la *millième partie* de cette hauteur par la double somme $2\,(t+t')$ des thermomètres libres; la correction sera positive ou négative suivant que $t+t'$ sera lui-même pósitif ou négatif.

La seconde et dernière correction, celle de la latitude et de la diminution de la pesanteur, s'obtiendra en prenant, dans la troisième table, le nombre qui correspond verticalement à la latitude et horizontalement à la hauteur approchée; cette correction est toujours additive.

Dans les cas très-rares où la station inférieure serait elle-même très-élevée au-dessus du niveau de la mer, il faudrait appliquer au résultat une petite correction dont on trouverait la valeur à l'aide de la table quatrième.

TYPE DE CALCUL.

Hauteur de Guanaxuato, observée par de Humboldt. Latitude = 21°. A la station supérieure, hauteur du baromètre $600^{mm}.95 = h'$; therm. du barom. $+21°.3 = T'$; therm. libre $+21°.3 = t'$. Au bord de la mer, hauteur du barom. $763^{mm},15 = h$; therm. du barom. $+25°.3 = T$; therm. libre $+25°.3 = t$.

Table Ire	donne pour 763^mm^.15.	6183^m^. 5. . . *a*
	« pour 600 .95.	4280 .7. . . *b*
Table II	donne pour $T - T' = +4°$ . .	5 .9. . . *c*
$a - b - c$. ou hauteur approchée.		1896 .9
1re correction $= \frac{1897}{1000} \times 2\,(t+t')$. . .	+	176 .8
Somme.		2073 .7
2e corr. table III donne pour 2073 et 21°	+	10 .6
hauteur.	=	$2084^m.3$

TABLE I.

Argument *h* et *h*.

Millim.	Mètres.	Differ.	Millim.	Mètres.	Differ.	Millim.	Mètres.	Differ.
	m.			m.			m.	
370	418,5	21,5	413	1294,1	19,2	456	2082,8	17,4
371	440,0	21,5	414	1313,3	19,2	457	2100,2	17,4
372	461,5	21,4	415	1332,5	19,2	458	2117,6	17,4
373	482,9	21,3	416	1351,7	19,1	459	2135,0	17,3
374	504,2	21,2	417	1370,8	19,1	460	2152,3	17,3
375	525,4	21,2	418	1389,9	19,0	461	2169,6	17,3
376	546,6	21,2	419	1408,9	19,0	462	2186,9	17,2
377	567,8	21,1	420	1427,9	18,9	463	2204,1	17,2
378	588,9	21,0	421	1446,8	18,9	464	2221,3	17,1
379	609,9	21,0	422	1465,7	18,9	465	2238,4	17,1
380	630,9	20,9	423	1484,6	18,8	466	2255,5	17,1
381	651,8	20,9	424	1503,4	18,8	467	2272,6	17,0
382	672,7	20,8	425	1522,2	18,6	468	2289,6	17,0
383	693,5	20,8	426	1540,8	18,7	469	2306,6	17,0
384	714,3	20,7	427	1559,5	18,7	470	2323,6	16,9
385	735,0	20,6	428	1578,2	18,6	471	2340,5	16,9
386	755,6	20,6	429	1596,8	18,5	472	2357,4	16,8
387	776,2	20,6	430	1615,3	18,5	473	2374,2	16,9
388	796,8	20,5	431	1633,8	18,4	474	2391,1	16,8
389	817,3	20,5	432	1652,2	18,4	475	2407,9	16,7
390	837,8	20,4	433	1670,6	18,4	476	2424,6	16,7
391	858,2	20,3	434	1689,0	18,3	477	2441,3	16,7
392	878,5	20,3	435	1707,3	18,3	478	2458,0	16,6
393	898,8	20,2	436	1725,6	18,2	479	2474,6	16,7
394	919,0	20,2	437	1743,8	18,3	480	2491,3	16,6
395	939,2	20,1	438	1762,1	18,2	481	2507,9	16,4
396	959,3	20,1	439	1780,3	18,1	482	2524,3	16,5
397	979,4	20,1	440	1798,4	18,1	483	2540,8	16,5
398	999,5	20,0	441	1816,5	18,0	484	2557,3	16,4
399	1019,5	19,9	442	1834,5	18,0	485	2573,7	16,5
400	1039,4	19,9	443	1852,5	17,9	486	2590,2	16,4
401	1059,3	19,8	444	1870,4	17,9	487	2606,6	16,3
402	1079,1	19,8	445	1888,3	17,9	488	2622,9	16,3
403	1098,9	19,7	446	1906,2	17,8	489	2639,2	16,2
404	1118,6	19,7	447	1924,0	17,8	490	2655,4	16,2
405	1138,3	19,6	448	1941,8	17,8	491	2671,6	16,3
406	1157,9	19,6	449	1959,6	17,7	492	2687,9	16,2
407	1177,5	19,6	450	1977,3	17,6	493	2704,1	16,1
408	1197,1	19,5	451	1994,9	17,7	494	2720,2	16,1
409	1216,6	19,4	452	2012,6	17,6	495	2736,3	16,0
410	1236,0	19,4	453	2030,2	17,6	496	2752,3	16,0
411	1255,4	19,4	454	2047,8	17,5	497	2768,3	16,1
412	1274,8		455	2065,3		498	2784,4	

Suite de la Table I.

Millim.	Mètres.	Differ.	Millim.	Mètres.	Differ.	Millim.	Mètres.	Differ.
	m.			m.			m.	
499	2800,4		542	3458,6		585	4066,6	
500	2816,3	15,9	543	3473,3	14,7	586	4080,2	13,6
501	2832,2	15,9	544	3487,9	14,6	587	4093,8	13,6
502	2848,1	15,9	545	3502,5	14,6	588	4107,3	13,5
503	2864,0	15,9	546	3517,2	14,7	589	4120,8	13,5
504	2879,8	15,8	547	3531,8	14,6	590	4134,3	13,5
505	2895,6	15,8	548	3546,3	14,5	591	4147,8	13,5
506	2911,1	15,7	549	3560,8	14,5	592	4161,3	13,5
507	2927,0	15,7	550	3575,3	14,5	593	4174,7	13,4
508	2942,7	15,7	551	3589,8	14,5	594	4188,1	13,4
509	2958,4	15,7	552	3604,2	14,4	595	4201,5	13,4
510	2974,0	15,6	553	3618,6	14,4	596	4214,9	13,4
511	2989,6	15,6	554	3633,0	14,4	597	4228,2	13,3
512	3005,2	15,6	555	3647,4	14,4	598	4241,6	13,4
513	3020,7	15,5	556	3661,7	14,3	599	4254,9	13,3
514	3036,2	15,5	557	3676,0	14,3	600	4268,2	13,3
515	3051,7	15,5	558	3690,3	14,3	601	4281,4	13,2
516	3067,2	15,5	559	3704,6	14,3	602	4294,7	13,3
517	3082,6	15,4	560	3718,8	14,2	603	4307,9	13,2
518	3097,9	15,3	561	3733,0	14,2	604	4321,1	13,2
519	3113,3	15,4	562	3747,2	14,2	605	4334,3	13,2
520	3128,6	15,3	563	3761,3	14,1	606	4347,4	13,1
521	3143,9	15,3	564	3775,4	14,1	607	4360,5	13,1
522	3159,2	15,3	565	3789,5	14,1	608	4373,7	13,2
523	3174,4	15,2	566	3803,6	14,1	609	4386,7	13,0
524	3189,7	15,3	567	3817,7	14,1	610	4399,8	13,1
525	3204,9	15,2	568	3831,7	14,0	611	4412,8	13,0
526	3220,0	15,1	569	3845,7	14,0	612	4425,9	13,1
527	3235,1	15,1	570	3859,7	14,0	613	4438,9	13,0
528	3250,2	15,1	571	3873,7	14,0	614	4451,9	13,0
529	3265,3	15,1	572	3887,6	13,9	615	4464,8	12,9
530	3280,3	15,0	573	3901,5	13,9	616	4477,7	12,9
531	3295,3	15,0	574	3915,4	13,9	617	4490,7	13,0
532	3310,3	15,0	575	3929,3	13,9	618	4503,6	12,9
533	3325,3	15,0	576	3943,1	13,8	619	4516,4	12,8
534	3340,2	14,9	577	3956,9	13,8	620	4529,3	12,9
535	3355,1	14,9	578	3970,7	13,8	621	4542,1	12,8
536	3370,0	14,9	579	3984,5	13,8	622	4554,9	12,8
537	3384,8	14,8	580	3998,2	13,7	623	4567,7	12,8
538	3399,6	14,8	581	4011,9	13,7	624	4580,5	12,8
539	3414,4	14,8	582	4025,6	13,7	625	4593,2	12,7
540	3429,2	14,8	583	4039,3	13,7	626	4606,0	12,8
541	3443,9	14,7	584	4052,9	13,6	627	4618,7	12,7

Suite de la Table 1.

Millim.	Mètres.	Differ.	Millim.	Mètres.	Differ.	Millim.	Mètres.	Differ.
	m.			m.			m.	
628	4631,4	12,6	671	5158,8	11,8	714	5653,4	11.2
629	4644,0	12,7	672	6170,6	11,9	715	5664,6	11,1
630	4656,7	12,6	673	5182,5	11,8	716	5675,7	11,1
631	4669,3	12,7	674	5194,3	11,8	717	5686,8	11,1
632	4682,0	12,5	675	5206,1	11,8	718	5697.9	11,1
633	4694,5	12,6	676	5217,9	11,8	719	5709,0	11,1
634	4707,1	12,6	677	5229,7	11,7	720	5720,1	11,0
635	4719,7	12,5	678	5241,4	11,8	721	5731,1	11,0
636	4732,2	12,5	679	5253,2	11,7	722	5742,1	11,0
637	4744,7	12,5	680	5264,9	11,7	723	5753,1	11.1
638	4757,2	12,5	681	5276,6	11,7	724	5764,2	11,9
639	4769,7	12,4	682	5288,3	11,7	725	5775,1	11,0
640	4782,1	12,5	683	5300,0	11,6	726	5786,1	10,0
641	4794,6	12,4	684	5311,6	11,6	727	5797,1	10,9
642	4807,0	12,4	685	5323,2	11,6	728	5808,0	11,0
643	4819,4	12,3	686	5334,8	11,6	729	5819,0	10,9
644	4831,7	12,4	687	5346,4	11,6	730	5829,9	10,9
645	4844,1	12,3	688	5358,0	11,6	731	5840,8	10,9
646	4856,4	12,3	689	5369,6	11,5	732	5851,7	10,8
647	4868,7	12,3	690	5381,1	11,6	733	5862,5	10,9
648	4881,0	12,3	691	5392,7	11,5	734	5873,4	10,8
649	4893,3	12,3	692	5404,2	11,5	735	5884,2	10,9
650	4905,6	12,2	693	5415,7	11,5	736	5895,1	10,8
651	4917,8	12,2	694	5427,2	11,5	737	5905,9	10,8
652	4930,0	12.2	695	5438,7	11,4	738	5916,7	10,8
653	4942,2	12,2	696	5450,1	11,4	739	5927,5	10,7
654	4954,4	12,2	697	5461,5	11,4	740	5938,2	10,8
655	4966,6	12,1	698	5472,9	11,4	741	5949,0	10,7
656	4978,7	12,2	699	5484,3	11,4	742	5959,7	10,7
657	4990,9	12,1	700	5495,7	11,4	743	5970,4	10,8
658	5003,0	12,1	701	5507,1	11,3	744	5981,2	10,7
659	5015,1	12,1	702	5518,4	11,4	745	5991,9	10,6
660	5027,2	12,0	703	5529,8	11,3	746	6002,5	10,7
661	5039,2	12,0	704	5541,1	11,3	747	6013,2	10,6
662	5051,2	12,1	705	5552,4	11,3	748	6023,8	10,6
663	5063,3	12,0	706	5563,7	11,3	749	6034,4	10,7
664	5075,3	11,9	707	5575,0	11,2	750	6045,1	10.6
665	5087,2	12,0	708	5586,2	11,3	751	6055,7	10,6
666	5099.2	12,0	709	5597,5	11,2	752	6066,3	10,6
667	5111,2	11,9	710	5608,7	11,2	753	6076,9	10,6
668	5123,1	11,9	711	5619,9	11,2	754	6087,5	10,5
669	5135,0	11,9	712	5631,1	11,1	755	6098,0	10,6
670	5146,9		713	5642,2		756	6108,6	

Suite de la Table I.

Millim.	Mètres.	Différ.	Millim.	Mètres.	Différ.	Millim.	Mètres.	Différ.
	m.			m.			m	
757	6119,1	10,5	769	6244,4	10,3	780	6357,4	10,2
758	6129,6	10,5	770	6254,7	10,3	781	6367,6	10,2
759	6140,1	10,5	771	6265,0	10,4	782	6377,8	10,2
760	6150,6	10,5	772	6275,4	10,3	783	6388,0	10,2
761	6161,1	10,4	773	6285,7	10,3	784	6398,2	10,1
762	6171,5	10,5	774	6296,0	10,2	785	6408,3	10,2
763	6182,0	10,4	775	6306,2	10,3	786	6418,5	10,1
764	6192,4	10,4	776	6316,5	10,2	787	6428,6	10,1
765	6202,8	10,4	777	6326,7	10,3	788	6438,7	10,1
766	6213,2	10,4	778	6337,0	10,2	789	6448,8	10,1
767	6223,6	10,4	779	6347,2		790	6458,9	
768	6234,0							

TABLE II.

Argument T — T′. Thermomètre centigrade du baromètre.

o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
0,2	0,3	4,2	6,2	8,2	12,1	12,2	17,9	16,2	23,8
0,4	0,6	4,4	6,5	8,4	12,4	12,4	18,2	16,4	24,1
0,6	0,9	4,6	6,8	8,6	12,6	12,6	18,5	16,6	24,4
0,8	1,2	4,8	7,1	8,8	12,9	12,8	18,8	16.8	24,7
1,0	1,5	5,0	7,4	9,0	13,2	13,0	19,1	17,0	25,0
1,2	1,8	5,2	7,6	9,2	13,5	13,2	19,4	17,2	25,3
1,4	2,1	5,4	7,9	9,4	13,8	13,4	19,7	17,4	25,6
1,6	2,3	5,6	8,2	9,6	14,1	13,6	20,0	17,6	25,9
1,8	2,6	5,8	8,5	9,8	14,4	13,8	20,3	17,8	26,2
2,0	2.9	6,0	8,8	10,0	14,7	14,0	20,6	18,0	26,5
2,2	3,2	6,2	9,1	10,2	15,0	14,2	20,9	18,2	26,8
2,4	3,5	6,4	9,4	10,4	15,3	14,4	21,2	18,4	27,1
2,6	3,8	6,6	9,7	10,6	15,6	14,6	21,5	18,6	27,4
2,8	4,1	6,8	10,0	10,8	15,9	14,8	21,8	18,8	27,7
3,0	4,4	7,0	10,3	11,0	16,2	15,0	22,1	19,0	28,0
3,2	4,7	7,2	10,6	11,2	16,5	15,2	22,4	19,2	28,2
3,4	5,0	7,4	10,9	11,4	16,8	15,4	22,7	19,4	28,5
3,6	5,3	7,6	11,2	11,6	17,1	15,6	22,9	19,6	28,8
3,8	5,6	7,8	11,5	11,8	17,4	15,8	23 2	19,8	29,1
4,0	5,9	8,0	11,8	12.0	17,6	16,0	23,5		

Le nombre donné par cette table avec la différence T — T′ se prend négativement ou positivement, selon que T — T′ est positif ou négatif.

TABLE III.

Arguments. Latitude sexagésimale du lieu et hauteur approchée (correction toujours additive).

Hauteur approchée.	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
200	2,4	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4
400	3,4	2,4	2,4	2,2	2,0	2,0	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	0,5
600	4,5	3,4	3,4	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,0	1,8	1,6	1,2
800	5,7	4,5	4,5	4,3	4,1	3,8	3,5	3,1	2,8	2,4	2,0	1,7
1000	7,0	5,7	5,7	5,3	5,1	4,8	4,3	3,8	3,4	3,1	2,6	2,2
1200	8,2	7,0	6,8	6,4	6,0	5,8	5,1	4,6	4,2	3,6	3,1	2,6
1400	9,2	8,2	8,0	7,6	7,1	6,7	6,1	5,4	4,8	4,2	3,6	3,0
1600	9,2	9,2	9,0	8,8	8,2	7,6	7,0	6,2	5,6	4,8	4,1	3,4
1800	10,4	10,4	10,2	9,8	9,4	8,6	8,0	7,0	6,3	5,4	4,6	3,9
2000	11,6	11,5	11,3	11,0	10,4	9,6	8,8	7,8	7,0	6,0	5,1	4,2
2200	12,8	12,6	12,6	12,1	11,4	10,6	9,7	8,6	7,6	6,6	5,6	4,6
2400	4,0	14,0	13,8	13,3	12,5	11,6	10,6	9,4	8,4	7,2	6,1	5,1
2600	15,2	15,2	15,0	14,4	13,6	12,6	11,6	10,5	9,2	8,0	6,8	5,6
2800	16,6	16,5	16,4	15,6	14,8	13,6	12,6	11,4	10,0	8,8	7,4	6,2
3000	17,9	17,7	17,6	16,8	15,8	14,6	13,6	12,2	10,8	9,4	8,0	6,6
3200	19,1	18,9	18,7	18,0	17,0	15,7	14,6	13,1	11,5	10,1	8,6	7,0
3400	20,5	20,3	20,1	19,3	18,4	16,9	15,7	14,1	12,4	10,9	9,2	7,7
3600	21,8	21,7	21,4	20,4	19,6	18,0	16,7	15,0	13,4	11,6	9,8	8,2
3800	23,1	22,9	22,6	21,6	20,6	19,1	17,7	15,9	14,3	12,4	10,5	8,7
4000	24,6	24,4	24,0	22,9	21,9	20,3	18,7	17,0	15,1	13,1	11,2	9,4
4200	25,9	25,7	25.3	24,3	23,0	21,6	19,9	18,0	15,9	14,0	12,0	10,1
4400	27,5	27,3	26,8	25,8	24,3	23,0	21,1	19,1	16,9	15,0	12,9	10,9
4600	28,9	28,7	28,2	27,1	25,6	24,3	22,3	20,3	18,0	15,9	13,6	[illegible]
4800	30.4	30,2	29,6	28,4	27,0	25,5	23,4	21,3	19,0	16,7	14,3	12,1
5000	31,8	31,6	30,9	29,8	28,4	26,7	24,6	22,3	19,9	17,4	15,0	12,7
5200	33,0	32,8	32,1	31,0	29,7	28,0	25,7	23,3	20,8	18,2	15,7	13,3
5400	34,3	34,1	33,5	32,4	30,8	29,2	26,7	24,3	21,7	19,1	16,4	13,9
5600	35,7	35,5	34,8	33,7	32,1	30,2	27,8	25,3	22,6	19,9	17,2	14,5
5800	37,1	36,9	36,1	35,0	33,2	31,3	28,9	26,3	23,6	20,7	17,8	15,1
6000	38,5	38,3	37,5	36,3	34,3	32,3	30,0	27,3	24,6	21,5	18,5	15,7

TABLE IV.

Correction pour 1,000 mètres de hauteur.

Haut.	Mètres.	Haut.	Mètres.
400	1,71	600	0,63
450	1,39	650	0,42
500	1,11	700	0,22
550	0,86	750	0,03

Soit, par exemple, à la stat. infér., $h = 600$ millim.; la différence de niveau = 1500 mètres : vous aurez 1000 : 0,63 = 1500 : 0,95, et la différence de niveau corrigée = 1500^{m}.9. Cette correction est toujours additive.

BAROMÈTRES MÉTALLIQUES.

Les difficultés de transport du baromètre ont depuis longtemps éveillé l'attention des savants et des constructeurs les plus distingués. Grâce à de nombreux perfectionnements, quelques-uns des nouveaux instruments, d'abord imparfaits, sont arrivés aujourd'hui à faire partie du bagage du marin, du voyageur et du géologue.

Parmi ces nouveaux appareils, celui que nous croyons le plus apte à suppléer, sinon à remplacer complétement les précieux instruments de Fortin, Gay-Lussac et autres, celui qui se range en première ligne, a été construit par M. Richard, à Paris. Le principe de ce baromètre métallique, trouvé presque simultanément par MM. Schintz en Prusse et Bourdon en France, repose sur ce fait, qu'un serpentin élastique à parois minces, à section elliptique et fermé par un bout, tend à se dérouler lorsque la pression qui s'exerce à l'intérieur l'emporte sur la pression extérieure; l'inverse a lieu lorsque la pression extérieure devient plus grande que celle intérieure. M. Bourdon a donné l'explication de ce fait fondamental en se servant de l'ancienne théorie des filets élastiques.

L'instrument construit par M. Richard consiste en une portion d'anneau creux, formé par un tube à section elliptique dont les extrémités sont distantes de quelques centimètres. Le vide est fait à l'intérieur de cet anneau incomplet; une de ses extrémités est fixe, tandis que l'autre, libre, peut suivre tous les mouvements que lui impriment les effets de pression ou de dépression. Le chemin parcouru par cette extrémité fait mouvoir un levier qui transmet ses oscillations à une aiguille,

et celle-ci se promène sur un cadran. indicateur. Pour mesurer des oscillations presque inappréciables et les rendre très visibles sur le cadran, un petit râteau ou plutôt une crémaillère formée d'une portion de cercle engrène avec un pignon qui, portant sur son axe une roue dans le rapport de 10 à 1 avec un nouveau pignon fixé sur l'axe de l'aiguille, multiplie dans de grandes proportions les chemins parcourus. A l'aide de semblables multiplicateurs, une dépression correspondante à 10 mètres d'élévation nous a été indiquée par une course de 1 centimètre, c'est-à-dire de 1 millimètre pour chaque mètre, de l'aiguille sur le cadran.

Tel qu'il est actuellement, ce baromètre peut rendre d'immenses services, et l'on peut supposer que bientôt, grâce aux heureuses modifications que M. Richard apporte tous les jours dans sa construction, sa sensibilité sera telle qu'il dépassera tout ce qui est connu jusqu'à ce jour comme indicateur de pression ou de dépression.

Jusqu'à ce qu'un usage prolongé ait donné la conviction que ces baromètres métalliques ne subissent pas d'altération sensible dans leur élasticité, il sera bon de les accompagner de bons baromètres à mercure, pouvant servir à les vérifier de temps en temps. Ces baromètres étalons pourront rester à des stations fixes.

HYPSOTHERMOMÈTRE DE M. WALFERDIN.

Si l'on se trouve sur des points tout à fait isolés où le baromètre ne soit pas applicable, on peut se servir de l'hypsothermomètre de M. Walferdin, qui donne avec une grande précision la température de la vapeur, dont le dégagement, par

suite de l'ébullition, varie suivant la pression aux différents points dont on veut mesurer la hauteur.

Quelques explications sur la théorie et l'emploi de cet instrument sont ici nécessaires, parce que, dans les baraques de sondage, il est très-facile d'en faire l'application.

Wollaston, le frère du chimiste, est le premier physicien qui ait eu et qui ait réalisé l'idée de faire servir le thermomètre à la mesure des hauteurs, par la détermination de la température de l'eau en ébullition.

Si l'eau bout au niveau de la mer, c'est-à-dire sous la pression de 0m.760 de mercure, à la température de 100°, il est évident que, lorsqu'on se place, par exemple, à 300 mètres plus haut, la pesanteur dont la colonne atmosphérique se trouve déchargée à cette hauteur permet à la vapeur de se dégager à une température moindre; elle bouillira alors à 99°.

Trois cents mètres en hauteur étant ainsi exprimés par un degré en température, il est indispensable que le degré thermométrique soit partagé en un nombre de divisions considérable pour donner des déterminations suffisamment précises en hauteur.

Wollaston avait, à cet effet, construit un thermomètre qui ne portait, par exemple, que dix degrés pour toute la longueur de sa tige, et dont le point de 100° se trouvait placé à la partie supérieure et celui de 90° à la partie inférieure.

L'instrument présentait ainsi, pour chaque degré (de 90° à 100°), un espace suffisant pour qu'on pût apprécier facilement la dixième ou la vingtième partie d'un degré centésimal.

Mais du temps de Wollaston on ne savait pas qu'il suffit qu'un thermomètre à mercure soit exposé à la température de l'eau bouillante pour que, par des causes encore aujourd'hui

mal connues, son zéro, c'est-à-dire le point où il revient, lorsqu'il est ramené à la température de la glace fondante, se déplace d'une quantité qui peut s'élever jusqu'à près de un degré, soit en plus, soit en moins. Ces différences étaient trop considérables pour que l'instrument, qui ne portait que la division de 90° à 100°, sans l'indication du zéro, permît de constater la quantité dont le mercure se déplace après l'ébullition ; il ne pouvait, par conséquent, être utilement employé.

Il fallait donc qu'indépendamment du point de 100°, l'instrument portât le point zéro ; or, un thermomètre ordinaire, qui présenterait cette double indication, et conserverait, à chaque degré, un espace suffisant pour qu'on pût observer facilement la quarantième ou la cinquantième partie du degré centésimal, devrait avoir la longueur du baromètre, et serait d'un maniement plus difficile encore, parce qu'il doit être placé en entier, non dans l'eau bouillante, mais dans le courant de vapeur qui s'en dégage pendant l'ébullition.

Voilà comment M. Walferdin a résolu cette difficulté dans l'instrument qu'il a désigné, à juste titre, sous le nom d'hypsothermomètre (mesure de la hauteur par la température). Nous lui empruntons la description qu'il en a donnée [1].

Un thermomètre de 25 à 30 centimètres de longueur porte, comme on le voit en A (pl. 58, *fig.* 10), à la partie inférieure de sa tige, indépendamment de l'indication du zéro, un degré en dessous et un degré en dessus, partagés en quarante divisions qui donnent le maximum d'écart que l'ébullition peut occasionner. Mais, à partir du degré supérieur + 1°, la tige, au lieu de continuer à être divisée comme dans un thermomètre

[1] Voir le *Bulletin de la Société géologique*, tome XIII, année 1841.

ordinaire, présente une chambre intermédiaire B destinée à contenir tout le mercure qui doit se dilater depuis + 1° jusqu'à la première division de l'échelle supérieure commençant en C, à 90°, par exemple, et finissant en D, à 100° : l'instrument est de la sorte raccourci de la longueur qu'il devrait avoir, s'il portait tous les degrés intermédiaires entre + 1° et 90°.

Chaque degré se trouve ainsi partagé, dans l'échelle supérieure comme dans l'échelle inférieure à la chambre, en quarante divisions dont la moitié permet de lire facilement la quatre-vingtième partie du degré centésimal, sans que la longueur de l'instrument excède celle d'un thermomètre ordinaire à courts degrés. L'hypsothermomètre est donc un *court* thermomètre à *longs* degrés, qui, placé dans la glace fondante après l'expérience, donne le moyen d'apprécier la quantité dont le mercure s'est déplacé pendant l'ébullition, et d'en faire la correction exacte; il est réduit à une dimension telle qu'il peut être mis en expérience dans un appareil dont le peu de hauteur permet à la vapeur de se maintenir à une température constante, au fur et à mesure de sa production et de son dégagement.

L'expérience, fort simple en elle-même, exige cependant des précautions assez minutieuses, que M. Walferdin recommande expressément de ne pas négliger.

Il importe de s'assurer que, pendant l'observation, le réservoir ou la cuvette de l'hypsothermomètre ne plonge pas dans l'eau bouillante, mais, comme nous l'avons dit, uniquement dans le courant de vapeur qui s'en dégage; car le contact immédiat de l'eau en surélèverait sensiblement l'indication.

L'appareil à ébullition, qui sert habituellement pour la détermination du point de 100° des thermomètres ordinaires,

est en métal; il ne laisse pas la possibilité de s'assurer que l'instrument ne touche en aucun cas aux parois du vase, et que l'eau ne jaillit pas jusqu'à la cuvette. M. Walferdin emploie un appareil plus simple où l'on peut suivre de l'œil les mouvements de l'eau en ébullition, constater qu'elle n'atteint jamais la cuvette, et surveiller la marche de l'instrument dès le commencement de l'expérience.

Pour cela, M. Walferdin emploie un matras ordinaire en verre, dont le col est assez large à sa base, et que l'on peut allonger à volonté, au moyen d'un tube de verre (*fig.* 11). On place au-dessus un couvercle pourvu de deux ouvertures latérales B, B, qui laissent la vapeur se dégager librement, et percé, au centre, d'un trou par où passe l'hypsothermomètre suspendu au moyen d'une bague en caoutchouc. Non-seulement le réservoir, mais la tige entière de l'hypsothermomètre baigne ainsi dans le courant de vapeur jusqu'au point où le niveau du mercure se lit, en A, sur la tige, au-dessus du couvercle.

Les tables bien connues de la température de l'ébullition de l'eau sous les différentes pressions atmosphériques, donnent ensuite la pression barométrique correspondant à la température observée, et l'on en déduit la hauteur à laquelle l'observation a été faite.

THERMOMÈTRES A MAXIMUM.

On a souvent besoin de connaître la température des eaux qu'on rencontre à la base d'un forage. Pour cela, on a employé pendant longtemps des instruments thermométriques, qui servaient aux expériences de température souterraine et sous-marine. Ces thermomètres portaient des index qui, se dépla-

çant par suite de l'accroissement ou de l'abaissement de la température, devaient, suivant le cas, indiquer cet accroissement ou cet abaissement. Mais ces index, étant mobiles, se déplaçaient nécessairement lorsqu'on ramenait les instruments à la surface, par suite des chocs inévitables dans ces sortes d'expériences. Ce n'est guère que depuis que M. Walferdin a imaginé les différents systèmes de thermomètres à maximum et à minimum, dont il s'est servi dans les belles expériences faites aux forages de Grenelle, du Creusot et ailleurs, que ces sortes d'expériences ont pris un caractère de certitude, qui a permis d'en admettre scientifiquement et rigoureusement les résultats. Nous ne parlerons ici que du thermomètre à maximum, seul applicable dans les expériences qu'il est utile de faire dans nos forages.

Concevons un thermomètre à mercure (*fig.* 5, pl. 58), terminé à sa partie supérieure par une pointe effilée A renfermée dans une chambre en forme de panse B, qui contient en réserve une petite quantité de mercure C. L'échelle gravée sur la tige n'est point à *lecture directe*, comme dans le thermomètre ordinaire, c'est-à-dire qu'elle ne donne pas directement ses indications en degrés centigrades. Elle est *arbitraire*, ainsi que cela se fait pour les thermomètres de précision, et divisée en parties d'égale capacité. On verra comment, par suite du principe de déversement, cet instrument peut donner, pour chaque degré, un plus grand nombre de divisions ou parties que les autres thermomètres de précision.

La construction de l'appareil thermométrique à déversement est telle que, lorsqu'on incline l'instrument, le mercure vient, à volonté, couvrir complétement la pointe (*fig.* 7), et que, lorsqu'on le redresse, il retombe dans le bas de la panse

en C (*fig.* 5), sans pouvoir jamais rentrer dans la tige, tant que l'instrument est placé verticalement.

S'il a été rempli de mercure jusqu'à la pointe, à une température quelconque inférieure à celle que l'on cherche, il est évident que, lorsqu'il se trouvera exposé à un accroissement de température, le mercure qui, dans ce cas, monterait dans l'intérieur de la tige d'un thermomètre ordinaire, va ici se déverser par la pointe terminale, comme on le voit en A (*fig.* 5), et que ce déversement ne cessera qu'au moment où l'instrument aura été complétement pénétré de la température du milieu dans lequel il a été mis en observation. C'est donc à une température inférieure à la température cherchée, que le thermomètre à maximum à déversement doit, avant l'expérience, avoir été rempli de mercure jusqu'à la pointe. Il est porté en cet état à la plus grande profondeur qu'on se propose d'atteindre. Le déversement a lieu tant qu'il y a accroissement de température, et ne s'arrête que lorsque l'instrument en a pris le maximum. Quelque secousse qu'il éprouve ensuite, il en conserve fidèlement l'indication : mais comme, en descendant, il a traversé des tranches de température successivement croissantes, il traversera, au contraire, en revenant à la surface, des tranches de température successivement décroissantes, et le mercure descendra alors dans la tige ; c'est dans cet état que l'instrument est ramené au sol, et il s'agit alors de savoir à quelle température le déversement a cessé, en d'autres termes, quel est le maximum de température auquel l'instrument a été exposé.

Pour cela, on place le thermomètre à déversement dans un milieu de *comparaison*, dans un tonneau ou un baquet, par exemple, contenant assez d'eau pour que la température n'en

varie pas sensiblement; et cette température, qui doit toujours être inférieure à celle d'*observation*, est indiquée par un bon thermomètre étalon. Sachant à l'avance que, dans le thermomètre à déversement, le degré centésimal égale un nombre déterminé de divisions de son échelle arbitraire, on n'a plus qu'à ajouter à la température du milieu de comparaison la valeur en degrés de l'espace resté vide dans la colonne thermométrique, entre le niveau actuel du mercure à cette dernière température et la pointe, c'est-à-dire la différence entre le nombre de parties correspondant à la température de comparaison et la dernière division, et, de plus, la valeur, déterminée par une constante, de la portion non divisée de la tige depuis la dernière partie jusqu'à la pointe. On a ainsi l'indication précise du maximum de température que l'instrument a rapportée.

Pour rendre cette explication plus facile à saisir, au moyen d'un exemple où les valeurs seront déterminées par des chiffres sans fractions, admettons que la tige soit, pour toute sa longueur, partagée en 225 divisions ou parties, et que l'instrument ne porte que 9 degrés seulement. On sait, à l'avance, que dans la limite des températures que l'on a à observer, le degré centésimal égale ainsi 25 parties.

Si dans le milieu de comparaison où l'on place, après l'expérience, l'instrument à déversement avec le thermomètre étalon, le mercure ne monte dans le premier qu'à la 150e partie (D, *fig.* 6), lorsque l'étalon est à 20°;

On note. . . . . , ... 150p. = 20°.00

On ajoute ensuite pour la différence entre la 150e partie D et la 225e E (la der-

A reporter. . 150p. = 20°.00

Report. .	150p. = 20°.00
nière).	75p. = 3°.00
Et, pour la portion non divisée de la tige, depuis la dernière partie E jusqu'à la pointe, une constante correspondant, par exemple, à 10 divisions ou parties. . .	10p. = 0°.40
On a ainsi pour résultat.	23°.40

Comme le thermomètre à déversement peut ne porter qu'un très-petit nombre de degrés pour toute la longueur de sa tige, on obtient au moyen de cet instrument les résultats les plus rigoureux.

Ainsi, le constructeur peut affecter un très-grand nombre de divisions ou parties à la valeur du degré centésimal. Rien de plus facile, par exemple, que de donner au réservoir du thermomètre à déversement une capacité telle qu'il ne porte que 8 ou 10 degrés, et que la tige en puisse être divisée en 500 parties. Mais, dans ce cas, il est indispensable de placer, pour l'expérience de *comparaison*, le thermomètre à déversement dans un milieu qui ne diffère pas de plus de 8 ou 10 degrés de la température d'*observation*, pour que le mercure, au lieu de rester dans la cuvette, à la température de comparaison, monte sur un point quelconque de la portion divisée de la tige, et qu'il soit ainsi possible d'en faire la lecture et d'en calculer les résultats.

La figure 7 montre comment, après une expérience terminée, l'instrument se règle pour une nouvelle expérience. On chauffe l'appareil jusqu'à ce que le déversement commence; on l'incline ensuite de manière que le mercure en réserve dans la panse latérale vienne couvrir complétement la pointe, et la

température s'abaissant, le mercure rentre dans la tige jusqu'à ce qu'il soit équilibré à la température qu'on veut prendre pour point de départ. Redressant ensuite l'instrument, on projette, dans la partie inférieure de la panse, le mercure en excès, et le thermomètre se trouve ainsi préparé pour une nouvelle expérience.

Comme les trous de sonde sont constamment remplis d'eau, M. Walferdin, pour mettre son instrument à l'abri des effets de pression, souvent très-considérables, que tout appareil thermométrique a nécessairement à supporter dans ce cas, le place dans un tube de cristal hermétiquement fermé à la lampe d'émailleur, et suffisamment épais pour qu'il puisse être considéré comme incompressible. Deux bouchons en liége maintiennent le thermomètre parfaitement fixe, et isolé des parois du tube.

Mais pour que les thermomètres à maximum puissent fournir des indications réellement utiles à la science, et qu'elles soient de nature à servir sérieusement à l'étude, encore incertaine en quelques cas, de la loi d'accroissement de la température en raison des profondeurs, il faut éviter de mettre les instruments en expérience dans la colonne liquide qui remplit les trous de sonde, parce qu'il s'y établit continuellement des courants calorifiques ascendants et descendants qui donneraient lieu à de graves erreurs. Il est indispensable, comme l'a recommandé M. Walferdin, en rendant compte à l'Académie des sciences de ses recherches sur la température de la terre à de grandes profondeurs, que les instruments thermométriques soient placés dans la vase boueuse et compacte qui se dépose, après le travail, au fond du trou de sonde; qu'ils y soient enfoncés de plusieurs mètres, et qu'ils

y séjournent, renfermés avec soin dans une des cuillères qui servent ordinairement à ramener les matières broyées, pendant un temps suffisant (plus de dix heures), afin que les appareils thermométriques et la cuillère qui leur sert d'enveloppe soient en parfait équilibre de température avec celle de la zone de terrain où ils sont mis en observation.

Enfin, ces expériences ne doivent être faites que lorsque la vase boueuse est complétement en repos, et que la chaleur inévitablement engendrée au fond du trou de sonde par la manœuvre des outils foreurs est totalement dissipée; il faut éviter, en outre, qu'en remontant avec trop de rapidité la cuillère qui contient les thermomètres, elle ne vienne à frotter contre les parois des trous de sonde, et que ce frottement ne donne lieu à quelque accroissement de température.

Le moment le plus convenable pour les recherches sur la température de la terre à de grandes profondeurs, est celui qui précède la reprise des travaux de sondage lorsqu'ils ont été interrompus pendant quelques mois. C'est, dit M. Walferdin, quand les expériences ont été faites dans de pareilles circonstances, avec toutes les précautions qu'il a indiquées, et qu'elles ont été répétées plusieurs fois sur un même point, avec un certain nombre d'instruments dont l'accord offre une garantie réelle, que les résultats ainsi obtenus sont précis, rigoureux et scientifiquement admissibles.

On doit également à ce physicien un autre thermomètre à maximum aujourd'hui généralement employé en météorologie, mais qui, dans les expériences dont il s'agit ici, donne des résultats moins certains que ceux qu'on obtient avec le thermomètre à déversement : c'est le thermomètre à maximum à bulle d'air (*fig.* 8 et 9, pl. 58).

On sait que la plupart des thermomètres à mercure contiennent, lors même qu'ils sont construits avec le plus de soin, une petite quantité d'air dont il est très-difficile de les débarrasser. Voilà comment M. Walferdin se sert de cette petite quantité d'air pour constituer, à volonté, un thermomètre à maximum :

On voit, par la figure 8, que l'instrument est terminé à sa partie supérieure par une petite chambre A en forme de cône renversé. Si l'on élève la température jusqu'à ce que le mercure vienne occuper la partie inférieure de cette chambre, et qu'à ce moment on imprime à l'appareil une secousse en le frappant d'un coup sec sur le doigt, on détache facilement une petite bulle de mercure qui se place sur le côté de la chambre. Cela fait, on expose la chambre à la flamme d'une bougie, de manière à dilater la petite quantité d'air qu'elle contient, et à la faire pénétrer dans la tige ; on fait tomber alors à l'extrémité inférieure de la chambre la petite goutte de mercure qui y avait été mise en réserve, et il suffit de tourner en fronde l'instrument pour faire descendre dans sa tige cette partie du mercure qui y constitue une nouvelle colonne, séparée de la première par la bulle d'air qu'on a introduite.

La figure 8 montre en B la petite masse d'air ainsi introduite dans la tige, et placée entre la colonne inférieure et la colonne supérieure de mercure.

Il est évident que si l'instrument ainsi disposé est soumis à un accroissement de température, le mercure de la cuvette et de la tige, en se dilatant, va pousser la petite masse d'air qui poussera elle-même la colonne de mercure qui lui est supérieure. La température vient-elle à s'abaisser ensuite, la colonne de mercure inférieure à la bulle d'air rentre dans le

bas de la tige (C, *fig.* 9) ; mais la colonne supérieure se maintient au maximum de température D, auquel l'instrument a été exposé.

Il est bien entendu que des observations préliminaires font apprécier, pendant que l'instrument est soumis à un accroissement de température, la longueur de la masse d'air introduite dans la tige. Elle ne doit point dépasser deux à trois dixièmes de degré, dont on fait la correction.

M. Walferdin fait observer que, pour fournir de bonnes indications, l'appareil doit être maintenu sous une certaine inclinaison. S'il était tenu verticalement, la colonne supérieure pourrait se déplacer, surtout lorsque le diamètre intérieur de la tige thermométrique est de plus d'un dixième de millimètre. Ainsi cet instrument, excellent pour les observations où il peut être mis en expérience avec l'inclinaison convenable, en météorologie, par exemple, ne donne plus que des résultats douteux s'il est placé verticalement, comme cela est presque toujours inévitable dans les forages.

Plusieurs instruments de cette espèce devraient être mis simultanément en expérience, et garantis de la pression, comme on le voit figure 9, dans le cas où on les adopterait pour mesurer la température du fond d'un puits. Même avec cette précaution, les résultats ne seront jamais aussi certains et autant à l'abri de toute chance d'erreur que ceux obtenus par le thermomètre à déversement, dont les indications sont irréfutables.

CHAPITRE VI

LÉGISLATION

Ordonnance du roi du 22 mai 1843 relative aux machines et chaudières à vapeur, autres que celles qui sont placées sur des bateaux.
Loi du 21 avril 1810 sur les mines. — Loi du 17 juin 1840 sur le sel. — Ordonnance du 7 mars 1841 sur le sel. — Loi du 29 avril 1845 sur les irrigations.

Une maxime très-sévère dit que : NUL N'EST CENSÉ IGNORER LA LOI.

Pour que cette maxime pût être complétement juste, il serait à désirer que chaque personne fût à même d'apprendre, sinon la totalité des Codes, du moins les principales lois qui doivent diriger sa conduite journalière. En dehors des établissements réservés aux hommes spéciaux, nous ne connaissons nul moyen d'éviter une ignorance souvent si dangereuse.

C'est pour ce motif qu'il nous a semblé utile de réunir dans un chapitre à part les quelques lois dont la connaissance est indispensable aux personnes qui veulent entreprendre des sondages avec les machines à vapeur, soit pour recherches d'eaux souterraines, soit pour recherches de mines.

ORDONNANCE DU ROI DU 22 MAI 1843

RELATIVE AUX MACHINES ET CHAUDIÈRES A VAPEUR, AUTRES QUE CELLES QUI SONT PLACÉES SUR DES BATEAUX.

LOUIS-PHILIPPE, Roi des Français,

Sur le rapport de notre ministre secrétaire d'État au département des travaux publics;

Vu les ordonnances des 29 octobre 1823, 7 mai 1828, 23 septembre 1829 et 25 mars 1830, concernant les machines et chaudières à vapeur;

L'ordonnance du 22 juillet 1839, relative aux locomotives employées sur les chemins de fer;

Les rapports de la commission centrale des machines à vapeur établie près de notre ministre des travaux publics;

Notre conseil d'État entendu,

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit :

Article Ier. Seront soumises aux formalités et aux mesures de sûreté prescrites par la présente ordonnance les machines à vapeur et les chaudières fermées dans lesquelles on doit produire de la vapeur.

Les machines et chaudières établies à bord des bateaux seront régies par une ordonnance spéciale.

TITRE PREMIER.

DISPOSITIONS RELATIVES A LA FABRICATION ET AU COMMERCE DES MACHINES OU CHAUDIÈRES A VAPEUR.

2. Aucune machine ou chaudière à vapeur ne pourra être livrée par un fabricant, si elle n'a subi les épreuves prescrites ci-après. Lesdites épreuves seront faites à la fabrique, sur la déclaration des fabricants, et d'après les ordres des préfets,

par les ingénieurs des mines, ou, à leur défaut, par les ingénieurs des ponts et chaussées.

3. Les chaudières ou machines à vapeur venant de l'étranger devront être pourvues des mêmes appareils de sûreté que les machines et chaudières d'origine française, et subir les mêmes épreuves. Ces épreuves seront faites au lieu désigné par le destinataire dans la déclaration qu'il devra faire à l'importation.

TITRE II.

DISPOSITIONS RELATIVES A L'ÉTABLISSEMENT DES MACHINES ET DES CHAUDIÈRES A VAPEUR PLACÉES A DEMEURE, AILLEURS QUE DANS LES MINES.

Section Première.

DES AUTORISATIONS.

4. Les machines à vapeur et les chaudières à vapeur, tant à haute pression qu'à basse pression, qui sont employées à demeure partout ailleurs que dans l'intérieur des mines, ne pourront être établies qu'en vertu d'une autorisation délivrée par le préfet du département, conformément à ce qui est prescrit par le décret du 15 octobre 1810 pour les établissements insalubres et incommodes de deuxième classe.

5. La demande en autorisation sera adressée au préfet : elle fera connaître :

1° La pression maximum de la vapeur, exprimée en atmosphères et en fractions décimales d'atmosphère, sous laquelle les machines à vapeur où les chaudières à vapeur devront fonctionner;

2° La force de ces machines exprimée en chevaux (le cheval-vapeur étant la force capable d'élever un poids de 75 kilogrammes à un mètre de hauteur, dans une seconde de temps);

3° La forme des chaudières, leur capacité, et celle de leurs tubes bouilleurs, exprimées en mètres cubes;

4° Le lieu et l'emplacement où elles devront être établies, et la distance où elles se trouveront des bâtiments appartenant à des tiers et de la voie publique;

5° La nature du combustible que l'on emploiera;

6° Enfin le genre d'industrie auquel les machines ou les chaudières devront servir.

Un plan des localités et le dessin géométrique de la chaudière seront joints à la demande.

6. Le préfet renverra immédiatement la demande en autorisation, avec les plans, au sous-préfet de l'arrondissement, pour être transmise au maire de la commune.

7. Le maire procédera immédiatement à des informations *de commodo et incommodo*. La durée de cette enquête sera de dix jours.

8. Cinq jours après qu'elle sera terminée, le maire adressera le procès-verbal de l'enquête, avec son avis, au sous-préfet, lequel, dans un semblable délai, transmettra le tout au préfet, en y joignant également son avis.

9. Dans le délai de quinze jours, le préfet, après avoir pris l'avis de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, statuera sur la demande en autorisation.

L'ingénieur signalera, s'il y a lieu, dans son avis, les vices de construction qui pourraient devenir des causes de danger, et qui proviendraient, soit de la mauvaise qualité des matériaux, soit de la forme de la chaudière, ou du mode de jonction de ses diverses parties. Il indiquera les moyens d'y remédier, si cela est possible.

10. L'arrêté par lequel le préfet autorisera l'établissement d'une machine ou d'une chaudière à vapeur indiquera :

1° Le nom du propriétaire;

2° La pression maximum de la vapeur, exprimée en nombre d'atmosphères, sous laquelle la machine ou la chaudière devra fonctionner, et les numéros des timbres dont la machine et la

chaudière auront été frappées, ainsi qu'il est prescrit ci-après, article 19;

3° La force de la machine, exprimée en chevaux;

4° La forme et la capacité de la chaudière;

5° Le diamètre des soupapes de sûreté, la charge de ces soupapes;

6° La nature du combustible dont il sera fait usage;

7° Le genre d'industrie auquel servira la machine ou la chaudière à vapeur.

11. Le recours au Conseil d'État est ouvert au demandeur contre la décision du préfet qui aurait refusé d'autoriser l'établissement d'une machine ou chaudière à vapeur.

S'il a été formé des oppositions à l'autorisation, les opposants pourront se pourvoir devant le conseil de préfecture contre la décision du préfet qui aurait accordé l'autorisation, sauf recours au conseil d'État.

Les décisions du préfet relatives aux conditions de sûreté que les machines ou chaudières à vapeur doivent présenter ne seront susceptibles de recours que devant notre ministre des travaux publics.

12. Les machines et les chaudières à vapeur ne pourront être employées qu'après qu'on aura satisfait aux conditions imposées dans l'arrêté d'autorisation.

13. L'arrêté du préfet sera affiché pendant un mois à la mairie de la commune où se trouve l'établissement autorisé. Il en sera, de plus, déposé une copie aux archives de la commune; il devra, d'ailleurs, être donné communication dudit arrêté à toute partie intéressée qui en fera la demande.

Section II.

ÉPREUVES DES CHAUDIÈRES ET DES AUTRES PIÈCES CONTENANT LA VAPEUR.

14. Les chaudières à vapeur, leurs tubes bouilleurs et leurs réservoirs à vapeur, les cylindres en fonte des machines à va-

peur et les enveloppes en fonte de ces cylindres, ne pourront être employés dans un établissement quelconque sans avoir été soumis préalablement, et ainsi qu'il est prescrit au titre Ier de la présente ordonnance, à une épreuve opérée à l'aide d'une pompe de pression.

15. La pression d'épreuve sera un multiple de la *pression effective*, ou autrement de la plus grande tension que la vapeur pourra avoir dans les chaudières et autres pièces contenant la vapeur diminuée de la pression extérieure de l'atmosphère.

On procédera aux épreuves en chargeant les soupapes des chaudières de poids proportionnels à la pression effective, et déterminés suivant la règle indiquée en l'art. 24.

A l'égard des autres pièces, la charge d'épreuve sera appliquée sur la soupape de la pompe de pression.

16. Pour les chaudières, tubes bouilleurs et réservoirs en tôle ou en cuivre laminé, la pression d'épreuve sera *triple* de la pression effective.

Cette pression d'épreuve sera *quintuple* pour les chaudières et tubes bouilleurs en fonte.

17. Les cylindres en fonte des machines à vapeur et les enveloppes en fonte de ces cylindres seront éprouvés sous une pression *triple* de la pression effective.

18. L'épaisseur des parois des chaudières cylindriques en tôle ou en cuivre laminé sera réglée conformément à la table n° 1 annexée à la présente ordonnance.

L'épaisseur de celles de ces chaudières qui, par leurs dimensions et par la pression de la vapeur, ne se trouveraient pas comprises dans la table, sera déterminée d'après la règle énoncée à la suite de ladite table; toutefois, cette épaisseur ne pourra dépasser 15 millimètres.

Les épaisseurs de la tôle devront être augmentées s'il s'agit de chaudières formées, en partie ou en totalité, de faces planes, ou bien de conduits intérieurs, cylindriques ou autres, traversant l'eau ou la vapeur, et servant, soit de foyers, soit à la circulation de la flamme. Ces chaudières et conduits devront, de

plus, être, suivant les cas, renforcés par des armatures suffisantes.

19. Après qu'il aura été constaté que les parois des chaudières en tôle ou en cuivre laminé ont les épaisseurs voulues, et après que les chaudières, les tubes bouilleurs, les réservoirs de vapeur, les cylindres en fonte et les enveloppes en fonte de ces cylindres auront été éprouvés, il y sera appliqué des timbres indiquant, en nombre d'atmosphères, le degré de tension intérieure que la vapeur ne devra pas dépasser. Ces timbres seront placés de manière à être toujours apparents, après la mise en place des chaudières et cylindres.

20. Les chaudières qui auront des faces planes seront dispensées de l'épreuve, mais sous la condition que la force élastique ou la tension de la vapeur ne devra pas s'élever, dans l'intérieur de ces chaudières, à plus d'*une atmosphère et demie*.

21. L'épreuve sera recommencée sur l'établissement dans lequel les machines ou chaudières doivent être employées : 1° si le propriétaire de l'établissement la réclame; 2° s'il y a eu pendant le transport, ou lors de la mise en place, des avaries notables; 3° si des modifications ou réparations quelconques ont été faites depuis l'épreuve opérée à la fabrique.

Section III.

DES APPAREILS DE SURETÉ DONT LES CHAUDIÈRES A VAPEUR DOIVENT ÊTRE MUNIES.

§ 1er. — *Des Soupapes de sûreté.*

22. Il sera adapté à la partie supérieure de chaque chaudière deux soupapes de sûreté, une vers chaque extrémité de la chaudière.

Le diamètre des orifices de ces soupapes sera réglé d'après la surface de chauffe de la chaudière et la tension de la vapeur dans son intérieur, conformément à la table n° 2 annexée à la présente ordonnance.

23. Chaque soupape sera chargée d'un poids unique, agissant soit directement, soit par l'intermédiaire d'un levier.

Chaque poids recevra l'empreinte d'un poinçon. Dans le cas où il serait fait usage de leviers, ils devront être également poinçonnés. La quotité des poids et la longueur des leviers seront fixées par l'arrêté d'autorisation mentionné à l'art. 10.

24. La charge maximum de chaque soupape de sûreté sera déterminée en multipliant 1 k. 033 par le nombre d'atmosphères mesurant la pression effective, et par le nombre de centimètres carrés mesurant l'orifice de la soupape.

La largeur de la surface annulaire de recouvrement ne devra pas dépasser la trentième partie de la surface circulaire exposée directement à la pression de la vapeur, et cette largeur. dans aucun cas, ne devra excéder deux millimètres.

§ II. — *Des Manomètres.*

25. Toute chaudière à vapeur sera munie d'un manomètre à mercure, gradué en atmosphères et en fractions décimales d'atmosphère, de manière à faire connaître immédiatement la tension de la vapeur dans la chaudière.

Le tuyau qui amènera la vapeur au manomètre sera adapté directement sur la chaudière, et non sur le tuyau de prise de vapeur ou sur tout autre tuyau dans lequel la vapeur serait en mouvement.

Le manomètre sera placé en vue du chauffeur.

26. On fera usage du manomètre à air libre, c'est-à-dire ouvert à sa partie supérieure, toutes les fois que la pression effective de la vapeur ne dépassera pas quatre atmosphères.

On emploiera toujours le manomètre à air libre, quelle que soit la pression effective de la vapeur, pour les chaudières mentionnées à l'article 43.

27. On tracera sur l'échelle de chaque manomètre, d'une manière apparente, une ligne qui répondra au numéro de cette échelle que le mercure ne devra pas dépasser.

§ III. — *De l'Alimentation et des Indicateurs du niveau de l'eau dans les chaudières.*

28. Toute chaudière sera munie d'une pompe d'alimentation, bien construite et en bon état d'entretien, ou de tout autre appareil alimentaire d'un effet certain.

29. Le niveau que l'eau doit avoir habituellement dans chaque chaudière sera indiqué, à l'extérieur, par une ligne tracée d'une manière très-apparente sur le corps de la chaudière ou sur le parement du fourneau.

Cette ligne sera d'un décimètre au moins au-dessus de la partie la plus élevée des carneaux, tubes ou conduits de la flamme et de la fumée dans le fourneau.

30. Chaque chaudière sera pourvue d'un *flotteur d'alarme*, c'est-à-dire qui détermine l'ouverture d'une issue par laquelle la vapeur s'échappe de la chaudière, avec un bruit suffisant pour avertir, toutes les fois que le niveau de l'eau dans la chaudière vient à s'abaisser de cinq centimètres au-dessous de la ligne d'eau dont il est fait mention à l'article 29.

31. La chaudière sera, en outre, munie de l'un des trois appareils suivants : 1° un flotteur ordinaire d'une mobilité suffisante; 2° un tube indicateur en verre; 3° des robinets indicateurs convenablement placés à des niveaux différents. Ces appareils indicateurs seront, dans tous les cas, disposés de manière à être en vue du chauffeur.

§ IV. — *Des Chaudières multiples.*

32. Si plusieurs chaudières sont destinées à fonctionner ensemble, elles devront être disposées de manière à pouvoir, au besoin, être rendues indépendantes les unes des autres.

En conséquence, chaque chaudière sera alimentée séparément, et devra être munie de tous les appareils de sûreté prescrits par la présente ordonnance.

Section IV.

DE L'EMPLACEMENT DES CHAUDIÈRES A VAPEUR.

33. Les conditions à remplir pour l'emplacement des chaudières à vapeur dépendent de la capacité de ces chaudières, y compris les tubes bouilleurs, et de la tension de la vapeur.

A cet effet, les chaudières sont réparties en quatre catégories.

On exprimera en mètres cubes la capacité de la chaudière avec ses tubes bouilleurs, et en atmosphères la tension de la vapeur, et on multipliera les deux nombres l'un par l'autre.

Les chaudières seront dans la première catégorie, quand ce produit sera plus grand que 15;

Dans la deuxième, si ce même produit surpasse 7 et n'excède pas 15;

Dans la troisième, s'il est supérieur à 3 et s'il n'excède pas 7;

Dans la quatrième catégorie, s'il n'excède pas 3.

Si plusieurs chaudières doivent fonctionner ensemble dans un même emplacement, et s'il existe entre elles une communication quelconque, directe ou indirecte, on prendra, pour former le produit comme il vient d'être dit, la somme des capacités de ces chaudières, y compris celle de leurs tubes bouilleurs.

34. Les chaudières à vapeur comprises dans la première catégorie devront être établies en dehors de toute maison d'habitation et de tout atelier.

35. Néanmoins, pour laisser la faculté d'employer au chauffage des chaudières une chaleur qui autrement serait perdue, le préfet pourra autoriser l'établissement des chaudières de la première catégorie dans l'intérieur d'un atelier qui ne fera pas partie d'une maison d'habitation. L'autorisation sera portée à la connaissance de notre ministre des travaux publics.

36. Toutes les fois qu'il y aura moins de 10 mètres de distance entre une chaudière de la catégorie première et les mai-

sons d'habitation ou la voie publique, il sera construit en bonne et solide maçonnerie un mur de défense de 1 mètre d'épaisseur. Les autres dimensions seront déterminées comme il est dit à l'article 41.

Ce mur de défense sera, dans tous les cas, distinct du massif de maçonnerie des fourneaux, et en sera séparé par un espace libre de 50 centimètres de largeur au moins. Il devra également être séparé des murs mitoyens avec les maisons voisines.

Si la chaudière est enfoncée dans le sol, et établie de manière que sa partie supérieure soit à 1 mètre au moins en contre-bas du sol, le mur de défense ne sera exigible que lorsqu'elle se trouvera à moins de 5 mètres des maisons habitées ou de la voie publique.

37. Lorsqu'une chaudière de la première catégorie sera établie dans un local fermé, ce local ne sera point voûté, mais il devra être couvert d'une toiture légère, qui n'aura aucune liaison avec les toits des ateliers ou autres bâtiments contigus, et reposera sur une charpente particulière.

38. Les chaudières à vapeur comprises dans la deuxième catégorie pourront être placées dans l'intérieur d'un atelier, si toutefois cet atelier ne fait pas partie d'une maison d'habitation ou d'une fabrique à plusieurs étages.

39. Si les chaudières de cette catégorie sont à moins de 5 mètres de distance, soit des maisons d'habitation, soit de la voie publique, il sera construit de ce côté un mur de défense tel qu'il est prescrit à l'article 36.

40. A l'égard des terrains contigus non bâtis, appartenant à des tiers, si, après l'autorisation donnée par le préfet pour l'établissement de chaudières de première ou de seconde catégorie, les propriétaires de ces terrains font bâtir dans les distances énoncées aux articles 36 et 39, ou si ces terrains viennent à être consacrés à la voie publique, la construction de murs de défense, tels qu'ils sont prescrits ci-dessus, pourra, sur la demande des propriétaires desdits terrains, être imposée au

propriétaire de la chaudière, par arrêté du préfet, sauf recours devant notre ministre des travaux publics.

41. L'autorisation donnée par le préfet, pour les chaudières de la première et de la deuxième catégorie, indiquera l'emplacement de la chaudière et la distance à laquelle cette chaudière devra être placée par rapport aux habitations appartenant à des tiers et à la voie publique, et fixera, s'il y a lieu, la direction de l'axe de la chaudière.

Cette autorisation déterminera la situation et les dimensions, en longueur et en hauteur, du mur de défense de 1 mètre, lorsqu'il sera nécessaire d'établir ce mur, en exécution des articles ci-dessus.

Dans la fixation de ces dimensions, on aura égard à la capacité de la chaudière, au degré de tension de la vapeur, et à toutes les autres circonstances qui pourront rendre l'établissement de la chaudière plus ou moins dangereux ou incommode.

42. Les chaudières de la troisième catégorie pourront ainsi être placées dans l'intérieur d'un atelier qui ne fera pas partie d'une maison d'habitation, mais sans qu'il y ait lieu d'exiger le mur de défense.

43. Les chaudières de la quatrième catégorie pourront être placées dans l'intérieur d'un atelier quelconque, lors même que cet atelier fera partie d'une maison d'habitation.

Dans ce cas, les chaudières seront munies d'un manomètre à air libre, ainsi qu'il est dit à l'article 26.

44. Les fourneaux des chaudières à vapeur comprises dans la troisième et dans la quatrième catégorie seront entièrement séparés par un espace vide de 50 centimètres au moins des maisons appartenant à des tiers.

45. Lorsque les chaudières établies dans l'intérieur d'un atelier ou d'une maison d'habitation seront couvertes, sur le dôme et sur les flancs, d'une enveloppe destinée à prévenir les déperditions de chaleur, cette enveloppe sera construite en matériaux légers; si elle est en briques, son épaisseur ne dépassera pas 1 décimètre.

TITRE III.

DISPOSITIONS RELATIVES A L'ÉTABLISSEMENT DES MACHINES A VAPEUR EMPLOYÉES DANS L'INTÉRIEUR DES MINES.

46. Les machines à vapeur placées à demeure dans l'intérieur des mines seront pourvues des appareils de sûreté prescrits par la présente ordonnance pour les machines fixes, et devront avoir subi les mêmes épreuves. Elles ne pourront être établies qu'en vertu d'autorisations du préfet, délivrées sur le rapport des ingénieurs des mines.

Ces autorisations détermineront les conditions relatives à l'emplacement, à la disposition et au service habituel des machines.

TITRE IV.

DISPOSITIONS RELATIVES A L'EMPLOI DES MACHINES A VAPEUR LOCOMOBILES ET LOCOMOTIVES.

Section Première.

DES MACHINES LOCOMOBILES.

47. Sont considérées comme *locomobiles* les machines à vapeur qui, pouvant être transportées facilement d'un lieu dans un autre, n'exigent aucune construction pour fonctionner à chaque station.

48. Les chaudières et autres pièces de ces machines seront soumises aux épreuves et aux conditions de sûreté prescrites aux sections II et III du titre II de la présente ordonnance, sauf les exceptions suivantes pour celles de ces chaudières qui sont construites suivant un système tubulaire.

Lesdites chaudières pourront être éprouvées sous une pression *double* seulement de la pression effective.

On pourra, quelle que soit la tension de la vapeur dans ces chaudières, remplacer le manomètre à air libre par un manomètre à air comprimé, ou même par un thermomanomètre, c'est-à-dire par un thermomètre gradué en atmosphères et parties décimales d'atmosphère : les indications de ces instruments devront être facilement lisibles et placées en vue du chauffeur.

On pourra se dispenser d'adapter auxdites chaudières un flotteur d'alarme, et il suffira qu'elles soient munies d'un tube indicateur en verre convenablement placé.

49. Indépendamment des timbres relatifs aux conditions de sûreté, toute locomobile recevra une plaque portant le nom du propriétaire.

50. Aucune locomobile ne pourra fonctionner à moins de 100 mètres de distance de tout bâtiment, sans une autorisation spéciale donnée par le maire de la commune. En cas de refus, la partie intéressée pourra se pourvoir devant le préfet.

51. Si l'emploi d'une machine locomobile présente des dangers, soit parce qu'il n'aurait point été satisfait aux conditions de sûreté ci-dessus prescrites, soit parce que la machine n'aurait pas été entretenue en bon état de service, le préfet, sur le rapport de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, pourra suspendre ou même interdire l'usage de cette machine.

Section II.

DES MACHINES LOCOMOTIVES.

52. Les machines à vapeur *locomotives* sont celles qui, en se déplaçant par leur propre force, servent au transport des voyageurs, des marchandises ou des matériaux.

53. Les dispositions de l'article 48 sont applicables aux chaudières et autres pièces de ces machines, sauf l'exception énoncée en l'article ci-après.

54. Les soupapes de sûreté des machines locomotives pourront être chargées au moyen de ressorts disposés de manière à faire connaître, en kilogrammes et en fractions décimales de kilogramme, la pression qu'ils exerceront sur les soupapes.

55. Aucune machine locomotive ne pourra être mise en service sans un *permis de circulation* délivré par le préfet du département où se trouvera le point de départ de la locomotive.

56. La demande du permis contiendra les indications comprises sous les numéros 1 et 3 de l'article 5 de la présente ordonnance, et fera connaître, de plus, le nom donné à la machine locomotive et le service auquel elle sera destinée.

Le nom de la locomotive sera gravé sur une plaque fixée à la chaudière.

57. Le préfet, après avoir pris l'avis de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, délivrera, s'il y a lieu, le permis de circulation.

58. Dans ce permis seront énoncés :

1° Le nom de la locomotive et le service auquel elle sera destinée;

2° La pression maximum (en nombre d'atmosphères) de la vapeur dans la chaudière, et les numéros des timbres dont la chaudière et les cylindres auront été frappés;

3° Le diamètre des soupapes de sûreté;

4° La capacité de la chaudière;

5° Le diamètre des cylindres et la course des pistons;

6° Enfin le nom du fabricant et l'année de la construction.

59. Si une machine locomotive ne satisfait pas aux conditions de sûreté ci-dessus prescrites, ou si elle n'est pas entretenue en bon état de service, le préfet, sur le rapport de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, pourra en suspendre ou même en interdire l'usage.

60. Les conditions auxquelles sera assujettie la circulation des locomotives et des convois, en tout ce qui peut concerner la sûreté publique, seront déterminées par arrêtés du préfet du département où sera situé le lieu du départ, après avoir entendu

les entrepreneurs, et en ayant égard, tant au cahier des charges des entreprises, qu'aux dispositions des règlements d'administration publique concernant les chemins de fer.

TITRE V.

DE LA SURVEILLANCE ADMINISTRATIVE DES MACHINES ET CHAUDIÈRES A VAPEUR.

61. Les ingénieurs des mines, et, à leur défaut, les ingénieurs des ponts et chaussées sont chargés, sous l'autorité des préfets, de la surveillance des machines et chaudières à vapeur.

62. Ces ingénieurs donnent leur avis sur les demandes en autorisation d'établir des machines ou des chaudières à vapeur, et sur les demandes de permis de circulation concernant les machines locomotives; ils dirigent les épreuves des chaudières et des autres pièces contenant la vapeur; ils font appliquer les timbres constatant les résultats de ces épreuves, et poinçonner les poids et les leviers des soupapes de sûreté.

63. Les mêmes ingénieurs s'assurent, au moins une fois par an, et plus souvent, lorsqu'ils en reçoivent l'ordre du préfet, que toutes les conditions de sûreté prescrites sont exactement observées.

Ils visitent les machines et les chaudières à vapeur; ils en constatent l'état, et ils provoquent la réparation et même la réforme des chaudières et des autres pièces que le long usage ou une détérioration accidentelle leur ferait regarder comme dangereuses.

Ils proposent également de nouvelles épreuves, lorsqu'ils les jugent indispensables, pour s'assurer que les chaudières et les autres pièces conservent une force de résistance suffisante, soit après un long usage, soit lorsqu'il y aura été fait des changements ou réparations notables.

64. Les mesures indiquées en l'article précédent sont ordonnées, s'il y a lieu, par le préfet, après avoir entendu les proprié-

taires, lesquels pourront, d'ailleurs, réclamer de nouvelles épreuves lorsqu'ils les jugeront nécessaires.

65. Lorsque, par suite de demandes en autorisation d'établir des machines ou des appareils à vapeur, les ingénieurs des mines ou les ingénieurs des ponts et chaussées auront fait, par ordre du préfet, des actes de leur ministère de la nature de ceux qui donnent droit aux allocations établies par l'article 89 du décret du 18 novembre 1810, et par l'article 75 du décret du 7 fructidor an XII, ces allocations seront fixées et recouvrées dans les formes déterminées par lesdits décrets.

66. Les autorités chargées de la police locale exerceront une surveillance habituelle sur les bâtiments pourvus de machines ou de chaudières à vapeur.

TITRE VI.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

67. Si, à raison du mode particulier de construction de certaines machines ou chaudières à vapeur, l'application, à ces machines ou chaudières, d'une partie des mesures de sûreté prescrites par la présente ordonnance se trouvait inutile, le préfet, sur le rapport des ingénieurs, pourra autoriser l'établissement des ces machines et chaudières, en les assujettissant à des conditions spéciales.

Si, au contraire, une chaudière ou machine paraît présenter des dangers d'une nature particulière, et s'il est possible de les prévenir par des mesures que la présente ordonnance ne rend point obligatoires, le préfet, sur le rapport des ingénieurs, pourra accorder l'autorisation demandée, sous les conditions qui seront reconnues nécessaires.

Dans l'un et l'autre cas, les autorisations données par le préfet seront soumises à l'approbation de notre ministre des travaux publics.

68. Lorsqu'une chaudière à vapeur sera alimentée par des

eaux qui auraient la propriété d'attaquer d'une manière notable le métal de cette chaudière, la tension intérieure de la vapeur ne devra pas dépasser une atmosphère et demie, et la charge des soupapes sera réglée en conséquence. Néanmoins, l'usage des chaudières contenant la vapeur sous une tension plus élevée sera autorisé, lorsque la propriété corrosive des eaux d'alimentation sera détruite, soit par une distillation préalable, soit par l'addition de substances neutralisantes, ou par tout autre moyen reconnu efficace.

Il est accordé un délai d'un an, à dater de la présente ordonnance, aux propriétaires des machines à vapeur alimentées par des eaux corrosives, pour se conformer aux prescriptions du présent article. Si, dans ce délai, ils ne s'y sont point conformés, l'usage de leurs appareils sera interdit par le préfet.

69. Les propriétaires et chefs d'établissements veilleront:

1° A ce que les machines et chaudières à vapeur et tout ce qui en dépend soient entretenus constamment en bon état de service;

2° A ce qu'il y ait toujours, près des machines et chaudières, des manomètres de rechange, ainsi que des tubes indicateurs de rechange, lorsque ces tubes seront au nombre des appareils employés pour indiquer le niveau de l'eau dans les chaudières;

3° A ce que lesdites machines et chaudières soient chauffées, manœuvrées et surveillées suivant les règles de l'art.

Conformément aux dispositions de l'article 1384 du Code civil, ils seront responsables des accidents et dommages résultant de la négligence ou de l'incapacité de leurs agents.

70. Il est défendu de faire fonctionner les machines et les chaudières à vapeur à une pression supérieure au degré déterminé dans les actes d'autorisation, et auquel correspondront les timbres dont ces machines et chaudières seront frappées.

71. En cas de changements ou de réparations notables qui seraient faits aux chaudières ou autres pièces passibles des épreuves, le propriétaire devra en donner avis au préfet, qui

ordonnera, s'il y a lieu, de nouvelles épreuves, ainsi qu'il est dit aux articles 63 et 64.

72. Dans tous les cas d'épreuves, les appareils et la main-d'œuvre seront fournis par les propriétaires des machines et chaudières.

73. Les propriétaires de machines ou de chaudières à vapeur autorisées seront tenus d'adapter auxdites machines et chaudières les appareils de sûreté qui pourraient être découverts par la suite, et qui seraient prescrits par des règlements d'administration publique.

74. En cas de contravention aux dispositions de la présente ordonnance, les permissionnaires pourront encourir l'interdiction de leurs machines ou chaudières, sans préjudice des peines, dommages et intérêts qui seraient prononcés par les tribunaux. Cette interdiction sera prononcée par arrêtés des préfets, sauf recours devant notre ministre des travaux publics. Ce recours ne sera pas suspensif.

75. En cas d'accident, l'autorité chargée de la police locale se transportera, sans délai, sur les lieux, et le procès-verbal de sa visite sera transmis au préfet, et, s'il y a lieu, au procureur du roi.

L'ingénieur des mines, ou, à son défaut, l'ingénieur des ponts et chaussées, se rendra aussi sur les lieux immédiatement, pour visiter les appareils à vapeur, en constater l'état et rechercher la cause de l'accident. Il adressera sur le tout un rapport au préfet.

En cas d'explosion, les propriétaires d'appareils à vapeur ou leurs représentants ne devront ni réparer les constructions, ni déplacer ou dénaturer les fragments de la chaudière ou machine rompue, avant la visite et la clôture du procès-verbal de l'ingénieur.

76. Les propriétaires d'établissements aujourd'hui autorisés se conformeront, dans le délai d'un an, à dater de la publication de la présente ordonnance, aux prescriptions de la section III du titre II, articles 22 à 32 inclusivement.

Quant aux dispositions relatives à l'emplacement des chaudières énoncées dans la section IV du même titre, articles 33 à 45 inclusivement, les propriétaires des établissements existants qui auront accompli toutes les obligations prescrites par les ordonnances des 29 octobre 1823, 7 mai 1828, 23 septembre 1829 et 25 mars 1830, sont provisoirement dispensés de s'y conformer; néanmoins, quand ces établissements seront une cause de danger, le préfet, sur le rapport de l'ingénieur des mines, ou, à son défaut, de l'ingénieur des ponts et chaussées, et après avoir entendu le propriétaire de l'établissement, pourra prescrire la mise à exécution de tout ou partie des mesures portées en la présente ordonnance, dans un délai dont le terme sera fixé suivant l'exigence des cas.

77. Il sera publié, par notre ministre secrétaire d'État au département des travaux publics, une nouvelle instruction sur les mesures de précaution habituelles à observer dans l'emploi des machines et des chaudières à vapeur.

Cette instruction sera affichée à demeure dans l'enceinte des ateliers.

78. L'établissement et la surveillance des machines et appareils à vapeur qui dépendent des services spéciaux de l'État sont régis par des dispositions particulières, sauf les conditions qui peuvent intéresser les tiers, relativement à la sûreté et à l'incommodité, et en se conformant aux prescriptions du décret du 15 octobre 1810.

79. Les attributions données aux préfets des départements par la présente ordonnance seront exercées par le préfet de police dans toute l'étendue du département de la Seine, et dans les communes de Saint-Cloud, Meudon et Sèvres, du département de Seine-et-Oise.

80. Les ordonnances royales des 29 octobre 1823, 7 mai 1828, 23 septembre 1829, 25 mars 1830 et 22 juillet 1839, concernant les machines et chaudières à vapeur, sont rapportées.

81. Notre ministre secrétaire d'État au département des tra-

vaux publics est chargé de l'exécution de la présente ordonnance, qui sera insérée au *Bulletin des Lois*.

Fait au palais des Tuileries, le 22 mai 1843.

Signé : LOUIS-PHILIPPE.

Par le Roi :

Le Ministre secrétaire d'État au département des travaux publics,

Signé : J.-B. TESTE.

INSTRUCTION

SUR LES MESURES DE PRÉCAUTION HABITUELLES A OBSERVER DANS L'EMPLOI DES CHAUDIÈRES A VAPEUR ÉTABLIES A DEMEURE.

§ Ier.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES.

L'emploi des chaudières à vapeur exige une surveillance exacte de la part des propriétaires de ces appareils, des précautions constantes et une attention soutenue de la part des ouvriers chauffeurs et mécaniciens.

Le propriétaire ne doit confier la conduite de la chaudière qu'à des ouvriers d'une conduite régulière, sobres, attentifs et expérimentés. Il est civilement responsable des amendes et des dommages et intérêts auxquels ses ouvriers seraient condamnés en cas de contravention.

Le chauffeur doit connaître les précautions à prendre dans la conduite du feu, les soins nécessaires à la conservation et au bon entretien de la chaudière, les circonstances qui peuvent amener des dangers d'explosion, l'usage de chacun des appa-

reils de sûreté dont la chaudière est pourvue. Lorsque l'un de ces appareils vient à se déranger, le chauffeur doit le remettre en ordre, ou bien prévenir le propriétaire de la chaudière, pour qu'il le fasse immédiatement remplacer ou réparer.

§ II.

DU FOYER ET DE LA CONDUITE DU FEU.

Le feu doit être conduit d'une manière égale, afin d'éviter une augmentation de chaleur trop brusque, ou un refroidissement trop rapide. Dans l'un et l'autre cas, les parties de la chaudière exposées à l'action du feu éprouveraient des dilatations inégales qui pourraient occasionner des déchirures ou des fuites d'eau entre les feuilles de tôle assemblées par des rivets.

La mise en feu ne doit donc pas être poussée avec trop de vivacité, surtout lorsque le foyer a été tout à fait refroidi. Quand le feu est arrivé au degré d'activité convenable, on doit charger le combustible sur la grille à des intervalles réguliers et par quantités à peu près égales.

Si la chaudière, par suite d'une interruption momentanée du travail ou de toute autre cause, doit cesser de fournir de la vapeur, le chauffeur fermera d'abord le registre de la cheminée, et ouvrira immédiatement après les portes du foyer.

Si l'interruption se prolonge, il devra, en outre, retirer le combustible de dessus la grille. Si, malgré ces précautions, la tension de la vapeur augmente au point de faire lever les soupapes de sûreté, il soulèvera un peu l'une d'elles, et la maintiendra dans cette position pour donner à la vapeur une libre issue, jusqu'à ce que le mercure soit descendu, dans le manomètre, au-dessous du niveau auquel il se tient habituellement. Un chauffeur qui, dans ces circonstances, calerait ou surchargerait les soupapes pour les empêcher de s'ouvrir, exposerait la chaudière à une explosion comme on en a eu plusieurs exemples.

Vers la fin de la journée, le chauffeur, voyant approcher l'heure où le jeu de la machine doit être définitivement suspendu, diminuera d'avance les charges de combustible, de façon à maintenir seulement la vapeur au degré de tension strictement nécessaire, et à atteindre la fin de la journée avec une petite quantité de combustible sur la grille. Au moment de la suspension du travail, il couvrira les derniers restes de combustible avec des cendres, fermera ensuite le registre de la cheminée et les portes du foyer, et ne quittera la chaudière qu'après s'être assuré que la pression de la vapeur accusée par le manomètre continue de diminuer. S'il restait, par hasard, au moment de la suspension du travail, beaucoup de combustible sur la grille, le chauffeur devrait en retirer la plus grande partie, avec les précautions indiquées pour le cas d'une suspension accidentelle prolongée.

Lors de la mise en feu, le chauffeur commencera par ouvrir le registre de la cheminée, ouvrira ensuite les portes du foyer, tisera, découvrira le feu, et chargera du combustible frais sur la grille.

§ III.

DE LA CHAUDIÈRE.

On doit éviter avec le plus grand soin :

De pousser la combustion avec une activité extrême;

D'alimenter avec des eaux contenant des substances capables d'attaquer le métal de la chaudière;

De laisser s'accumuler des dépôts terreux, ou se former des dépôts incrustants ou *tartres* adhérents aux parois de la chaudière.

Les constructeurs donnent à la grille et à la surface de chauffe d'une chaudière des dimensions en rapport avec la quantité d'eau qui doit être réduite en vapeur par heure. Quand l'appareil est une fois monté, on cherche quelquefois à augmenter

la production de vapeur, en poussant la combustion avec une extrême activité. Les résultats de cette pratique sont toujours une consommation de combustible en disproportion avec la quantité d'eau vaporisée, et l'usure rapide des parois de la chaudière, exposées directement à l'action du feu.

Cette usure se manifeste par les écailles d'oxyde de fer ou rouille qui se détachent de la surface externe des parois, et finalement par des gonflements de la tôle. On dit alors que la chaudière a eu *un coup de feu*. La solidité d'une chaudière ainsi détériorée est de beaucoup diminuée; elle doit être, par conséquent, réparée sans retard, ou du moins, visitée avec beaucoup de soin, pour qu'on puisse reconnaître la gravité du mal.

L'alimentation avec des eaux contenant des substances acides ou salines susceptibles d'attaquer le métal des chaudières, telles que les eaux extraites de certains puits de mines ou de carrières, est prohibée, à moins que les propriétés corrosives de ces eaux ne soient neutralisées par des moyens reconnus efficaces par l'Administration.

Les eaux, même les plus pures, déposent, en passant à l'état de vapeur, des sédiments terreux qu'il ne faut jamais laisser s'accumuler dans les chaudières. Ces sédiments, surtout quand les eaux contiennent des sels calcaires, se prennent ordinairement en masses dures ou pierreuses, qui se fixent sur les parois des chaudières et y adhèrent si fortement qu'on ne peut les en détacher qu'à coups de ciseau et de marteau; ils s'attachent principalement aux parties inférieures des parois qui sont exposées directement à l'action de la flamme; ils rendent plus difficile et plus lente la transmission de la chaleur du foyer à l'eau contenue dans la chaudière, et occasionnent un accroissement de dépense de combustible, en même temps que l'usure rapide de la chaudière dans la partie exposée à l'action de la flamme. Les effets des dépôts incrustants sont ainsi les mêmes que ceux d'une combustion poussée avec trop d'activité. On a reconnu par l'expérience qu'on prévenait l'endurcissement des sédiments en masses pierreuses, en ajoutant à l'eau d'alimenta-

tion certaines matières tinctoriales de nature végétale telles que celle qui est fournie par le bois de campêche. On versera donc une teinture de ce genre dans la bâche alimentaire, de manière à ce que les eaux soient constamment colorées : si la température de ces eaux est suffisamment élevée, il suffira de mettre dans la bâche un sac de toile renfermant du bois de campêche réduit en poudre fine, que l'on renouvellera quand la matière colorante sera épuisée; enfin on pourra aussi jeter dans la chaudière de la poudre de bois de campêche. Ces précautions ne dispenseront pas de nettoyer la chaudière des sédiments vaseux qu'elle contiendra, après un temps de service qui dépendra du degré de pureté des eaux et que l'expérience déterminera.

Le chauffeur, en nettoyant la chaudière, aura soin de n'y laisser aucun corps solide, tel que outils, chiffons, éponges, etc.; l'expérience a montré que ces corps, en se fixant sur un point des parois, pourraient y déterminer l'accumulation des dépôts, et donner lieu ainsi à la destruction de la chaudière.

Si un chauffeur s'apercevait que la chaudière, en raison de sa forme, ne peut pas être nettoyée complétement et à fond, il devrait en prévenir le propriétaire.

Le tuyau qui amène les eaux alimentaires ne doit pas déboucher près des points de la chaudière qui sont exposés extérieurement à l'action directe du feu, surtout quand les chaudières ont une grande épaisseur.

Lorsqu'on s'aperçoit d'une fuite entre les bords d'un plateau de fermeture en fonte et les collets sur lesquels il est appuyé, on ne doit point essayer d'y pourvoir pendant le travail, en serrant les écrous : on courrait le risque d'occasionner la rupture du plateau, et, si elle arrivait, l'ouvrier serait tué par les éclats, ou brûlé par l'eau et la vapeur. Ces sortes de fuites ne doivent être réparées que lorsque le travail a cessé.

Le chauffeur doit dénoncer au propriétaire les moindres déchirures ou avaries qu'il remarque, et, à plus forte raison, le prévenir des avaries plus apparentes, telles que les *coups de feu*.

Le propriétaire doit vérifier très-fréquemment l'état de la chaudière, faire faire, sans délai, les réparations nécessaires. Il doit, de plus, donner avis de ces réparations au préfet, afin que la chaudière soit de nouveau visitée par l'ingénieur chargé du service des appareils à vapeur, et soumise, après les réparations, à la pression d'épreuve prescrite par les règlements.

§ IV.

DES SOUPAPES DE SURETÉ.

Les soupapes de sûreté sont un accessoire indispensable de toute chaudière à vapeur.

Chaque soupape de sûreté doit être chargée par un poids unique, qui agit ordinairement par l'intermédiaire d'un levier. Les poids et les longueurs des bras des leviers sont fixés par l'arrêté d'autorisation.

Un chauffeur qui se permettrait de surcharger une soupape par une augmentation, soit du poids, soit de la longueur du bras de levier, ou de la caler pour en arrêter le jeu, mettrait la chaudière en danger d'explosion.

Lorsque les soupapes ne sont pas bien ajustées, il arrive souvent que, après s'être soulevées, elles ne se referment pas complétement, et laissent perdre de la vapeur sous une pression inférieure à celle qui correspond à leur charge. Il suffit, le plus ordinairement, d'appuyer avec la main sur la soupape pour la fermer et faire cesser toute fuite de vapeur. Si la soupape continuait à perdre, ce serait une preuve qu'elle ne porte pas bien sur son siége, et que, en conséquence, elle a besoin d'être nettoyée et rodée de nouveau. Dans aucun cas, le chauffeur ne doit augmenter la charge des soupapes.

§ V.

DU MANOMÈTRE.

Le manomètre indique, à chaque instant, la tension exacte de la vapeur dans la chaudière, et les variations de cette tension quand elle n'est point constante. Cet instrument est le véritable guide du chauffeur dans la conduite du feu.

Les manomètres seront désormais ouverts à l'air libre, sauf pour les chaudières qui seraient timbrées à plus de 5 atmosphères. Les tubes qui contiennent la colonne de mercure sont en verre ou en fer; dans ce dernier cas, la hauteur de la colonne de mercure dans l'instrument et la pression correspondante de la vapeur sont accusées par un index lié par un cordon à un flotteur qui suit la colonne de mercure. Le tuyau qui conduit la vapeur au manomètre doit être adapté au corps même de la chaudière. Ce tuyau est habituellement muni d'un robinet qui permet d'ouvrir ou d'intercepter la communication entre le manomètre et la chaudière, mais qui doit être constamment ouvert quand la chaudière est en activité. On le ferme quelquefois quand la chaudière n'est pas en feu, quoique cela soit inutile lorsque les manomètres sont bien disposés.

Le chauffeur doit se garder d'ouvrir brusquement ce robinet, soit pendant que la chaudière est en pleine activité, soit lorsqu'elle est arrêtée depuis quelque temps. Dans le premier cas, l'ascension du mercure produite par la pression subite de la vapeur pourrait projeter tout ou partie du mercure de l'instrument hors du tube; dans le second cas, si un vide existait dans la chaudière, la pression subite de l'air pourrait déterminer le passage du mercure dans le tuyau de communication, et dans la chaudière même.

§ VI.

DE LA POMPE ALIMENTAIRE ET DES INDICATEURS DU NIVEAU DE L'EAU.

Il est de la plus haute importance que le niveau de l'eau soit maintenu, dans la chaudière, à une hauteur à peu près constante, et toujours supérieure aux conduits ou carneaux de la flamme et de la fumée.

Le chauffeur doit donc examiner très-fréquemment les appareils qui accusent le niveau de l'eau dans l'intérieur de la chaudière, et régler, d'après leurs indications, la quantité d'eau alimentaire.

Les appareils indicateurs du niveau de l'eau sont : le flotteur, le tube indicateur en verre, ou des robinets indicateurs convenablement placés à des niveaux différents.

Le chauffeur vérifiera fréquemment la mobilité et le bon état du flotteur, quand la chaudière sera pourvue de cet appareil.

Il tiendra les conduits du tube indicateur en verre libres d'obstructions, et le tube lui-même bien net, quand il sera fait usage de cet appareil. Il devra prévenir le propriétaire et faire réformer le tube en verre quand sa transparence sera altérée.

Une ligne tracée d'une manière très-apparente sur l'échelle du tube indicateur ou sur une règle placée près du flotteur, indique le niveau au-dessous duquel l'eau ne doit pas descendre dans la chaudière.

Le chauffeur fera jouer souvent les robinets indicateurs étagés, quand il en sera fait usage.

L'alimentation est entretenue au moyen de pompes mues par la machine à vapeur, ou de pompes à bras, ou de retours d'eau ou appareils alimentaires à jeu de vapeur. Quand l'alimentation est faite par une pompe mue par la machine, elle peut être continue ou intermittente : si elle est continue (et il serait à

désirer qu'elle le fût toujours), la pompe n'en doit pas moins fournir plus d'eau qu'il n'en faut pour remplacer celle qui est dépensée en vapeur par coup de piston de la machine. Un embranchement adapté au tuyau alimentaire, et muni d'un robinet de décharge, sert à régler la quantité d'eau foulée par la pompe qui doit entrer dans la chaudière, tandis que le surplus retourne à la bâche. Le chauffeur règle d'ailleurs, à la main, l'ouverture du robinet, de manière à ce que le niveau de l'eau, accusé par les indicateurs, demeure invariable.

Lorsque l'alimentation est intermittente, en raison de ce qu'elle est effectuée, soit par une pompe qui n'est pas munie d'un robinet de décharge, soit par une pompe mue à bras, soit par un retour d'eau ou autre appareil alimentaire à jeu de vapeur, le chauffeur doit avoir soin de faire jouer l'appareil alimentaire, avant que l'eau soit descendue jusqu'au niveau indiqué par la ligne fixe tracée extérieurement sur la monture du tube indicateur ou près du flotteur.

Dans quelques cas, l'alimentation est régularisée par un mécanisme particulier mû par un flotteur. Cela ne saurait dispenser le chauffeur de fixer son attention sur les indicateurs du niveau, par la raison que le mécanisme, quelque bien construit qu'il soit, peut se déranger et pourrait être ainsi plus nuisible qu'utile, si le chauffeur se croyait déchargé par là de l'attention dont il ne doit jamais se départir.

Un dérangement qui serait survenu dans l'appareil alimentaire se manifestera aux yeux d'un chauffeur attentif bien avant qu'il ait pu donner lieu à un accident. Ce dérangement reconnu, le chauffeur doit remettre l'appareil en ordre, en arrêtant, au besoin, le jeu de la machine. En agissant autrement, il mettrait la chaudière en danger.

Si, malgré toutes les précautions indiquées ci-dessus, le chauffeur, trompé par des appareils indicateurs qui seraient défectueux à son insu, venait à reconnaître que l'eau est descendue accidentellement dans la chaudière au-dessous du niveau supérieur des carneaux, il devrait fermer le registre de la

cheminée, ouvrir les portes du foyer, afin de ralentir l'activité de la combustion, et de faire tomber la flamme ; il se garderait de soulever les soupapes de sûreté, et maintiendrait les portes du foyer ouvertes, jusqu'à ce que le jeu de l'appareil alimentaire eût fait remonter l'eau dans la chaudière à son niveau habituel.

§ VII.

DU FLOTTEUR D'ALARME.

Le flotteur d'alarme est destiné à prévenir, par un bruit aigu, un chauffeur qui n'aurait pas donné l'attention convenable à la conduite de la chaudière, que l'eau est descendue jusque tout près du niveau des carneaux. Le chauffeur, averti par le bruit du flotteur d'alarme, doit, avant tout, examiner les indicateurs du niveau de l'eau ; si ces appareils indiquent que l'eau n'est pas encore descendue, dans la chaudière, au-dessous du niveau supérieur des carneaux, il doit pourvoir immédiatement à l'alimentation. Mais, si le flotteur d'alarme avait fonctionné tardivement, et que l'eau fût descendue trop bas, le chauffeur devrait suivre les indications contenues à la fin du paragraphe précédent.

Le flotteur d'alarme ne doit fonctionner que rarement, puisqu'il est destiné à avertir d'une circonstance qui n'a pu arriver que par la négligence du chauffeur. Celui-ci doit vérifier, chaque jour, s'il est en bon état, et si son jeu n'est pas entravé par des corps solides qui boucheraient l'issue de la vapeur, ou par toute autre cause.

Le propriétaire doit aussi vérifier fréquemment par lui-même si cet appareil fonctionne bien.

§ VIII.

DU LOCAL DE LA CHAUDIÈRE.

Le chauffeur doit maintenir le local de la chaudière libre

d'objets encombrants, qui gêneraient le service et pourraient aggraver les suites d'une explosion.

La chaudière, si elle est enveloppée sur le dôme, ne doit être revêtue que de matériaux légers et, autant que possible, incohérents, tels que des cendres, de la terre tamisée ou des briques très-légères.

Le propriétaire et le chauffeur doivent veiller à ce que le local soit tenu fermé pendant les heures où le travail est suspendu, et à ce qu'il ne serve pas de passage et encore moins d'atelier aux ouvriers pendant les heures de travail, à moins d'une autorisation spéciale du préfet.

Paris, le 22 juillet 1843.

Le ministre secrétaire d'Etat des travaux publics,

J.-B. TESTE.

Suivent les Tables n° 1 et n° 2.

TABLE N° 1.

TABLE ***des Épaisseurs à donner aux Chaudières à vapeur cylindriques en tôle ou en cuivre laminé*** [1].

DIAMÈTRES DES CHAUDIÈRES.	NUMÉROS DES TIMBRES EXPRIMANT LES TENSIONS DE LA VAPEUR.						
	2 atmosph.	3 atmosph.	4 atmosph.	5 atmosph.	6 atmosph.	7 atmosph.	8 atmosph.
mèt	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.	millim.
0,50	3,90	4,80	5,70	6,60	7,50	8,40	9,30
0,55	3,99	4,98	5,97	6,96	7,95	8,94	9,93
0,60	4,08	5,16	6,24	7,32	8,40	9,48	10,56
0,65	4,17	5,34	6,51	7,68	8,85	10,02	11,19
0,70	4,26	5,52	6,78	8,04	9,30	10,56	11,82
0,75	4,35	5,70	7,05	8,40	9,75	11,10	12,45
0,80	4,44	5,88	7,32	8,76	10,20	11,64	13,08
0,85	4,53	6,06	7,59	9,12	10,65	12,18	13,71
0,90	4,62	6,24	7,86	9,48	11,10	12,72	14,34
0,95	4,71	6,42	8,13	9,84	11,55	13,26	14,97
1,00	4,80	6,60	8,40	10,20	12,00	13,80	15,60

[1] Pour obtenir l'épaisseur que l'on doit donner aux chaudières, il faut multiplier le diamètre de la chaudière, exprimé en mètres et fractions décimales du mètre, par la pression effective de la vapeur, exprimée en atmosphères, et par le nombre fixe 18; prendre la dixième partie du produit ainsi obtenu et y ajouter le nombre fixe 3. Le résultat exprimera, en millimètres et en fractions décimales du millimètre, l'épaisseur cherchée.

TABLE N° 2.

TABLE *pour régler les Diamètres à donner aux orifices des soupapes de sûreté* [1].

SURFACES DE CHAUFFE DES CHAUDIÈRES.	NUMÉROS DES TIMBRES INDIQUANT LES TENSIONS DE LA VAPEUR.									
	1 1/2 atmos.	2 atmos.	2 1/2 atmos.	3 atmos.	3 1/2 atmos.	4 atmos.	4 1/2 atmos.	5 atmos.	5 1/2 atmos.	6 atmos.
mèt. c.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.	centim.
1	2,493	2,063	1,799	1,616	1,479	1,372	1,286	1,214	1,152	1,100
2	3,525	2,918	2,544	2,286	2,092	1,941	1,818	1,716	1,630	1,555
3	4,317	3,573	3.116	2,799	2,563	2,377	2,227	2.102	1,996	1,905
4	4,985	4,126	3,598	3,232	2,959	2,745	2,572	2,427	2,305	2,200
5	5,574	4,613	4,023	3,614	3,308	3,069	2,875	2,714	2,578	2,459
6	6,106	5,054	4,407	3,958	3,624	3,362	3,149	2,973	2,823	2,694
7	6,595	5,458	4,760	4,276	3,914	3,631	3,402	3,211	3.045	2,910
8	7,050	5,835	5,089	4,571	4.185	3,882	3.637	3,433	3,260	3,111
9	7,478	6,189	5,398	4,848	4,438	4,117	3,857	3,641	3,458	3,299
10	7,882	6,524	5,690	5,110	4,679	4,340	4,066	3,838	3,645	3.478
11	8,267	6,843	5,967	5,360	4,907	4,552	4.265	4,025	3,823	3,648
12	8.635	7,147	6,233	5,598	5,125	4,754	4,454	4,204	3,993	3,810
13	8,987	7.439	6,487	5,827	5,334	4,949	4,636	4,376	4,156	3,965
14	9.325	7,720	6,732	6,047	5,536	5,138	4,811	4,541	4,312	4,124
15	9,654	7,990	6,968	6,259	5,730	5,316	4,980	4,701	4,464	4,259
16	9,970	8,253	7,197	6,464	5,918	5,490	5,143	4,854	4,610	4,399
17	10,277	8.506	7,418	6,663	6,100	5.659	5,302	5,004	4,752	4,534
18	10,575	8,753	7,633	6,841	6,277	5,823	5,455	5,149	4,890	4,666
19	10,865	8,993	7,842	7,044	6,449	5,982	5,605	5,290	5,024	4,794
20	11,147	9,227	8,046	7,227	6,616	6,138	5,750	5,428	5,154	4,918
21	11,423	9,454	8,245	7,389	6.780	6,289	5,892	5,561	5,282	5,040
22	11,691	9,677	8,439	7,580	6,939	6,437	6,031	5,692	5,406	5,158
23	11,954	9,894	8,629	7,750	7,095	6,582	6,167	5,820	5,527	5,274
24	12,211	10.107	8,814	7,917	7.248	6,723	6,299	5,845	5,646	5,388
25	12,463	10,316	8,996	8,080	7,397	6,862	6,429	6,069	5,763	5,499
26	12,710	10,520	9,174	8,240	7,544	6.998	6,556	6,188	5,877	5,608
27	12,952	10,720	9,349	8,397	7,776	7,132	6,681	6,306	5,989	5,715
28	13,190	10,917	9,520	8.551	7,828	7,262	6,804	6,422	6,099	5,819
29	13,423	11,110	9,689	8.703	7.967	7,391	6,924	6,535	6,207	5,922
30	13,653	11,300	9,855	8,851	8,103	7,517	7,043	6,648	6,313	6,024

[1] Pour déterminer le diamètre des soupapes de sûreté, il faut diviser la surface de chauffe de la chaudière, exprimée en mètres carrés, par le nombre qui indique la tension maximum de la vapeur dans la chaudière, préalablement diminué du nombre $0^{m}.412$; prendre la racine carrée du quotient ainsi obtenu, et le multiplier par 2,6 : le résultat exprimera, en centimètres et en fractions décimales du centimètre, le diamètre cherché.

Préfecture de Police.

ORDONNANCE

RELATIVE AUX MACHINES ET CHAUDIÈRES A VAPEUR, AUTRES QUE CELLES QUI SONT PLACÉES SUR DES BATEAUX.

Paris, 6 novembre 1843.

NOUS CONSEILLER D'ÉTAT, PRÉFET DE POLICE,

ORDONNONS ce qui suit :

ARTICLE 1er. L'ordonnance royale du 22 mai 1843, relative aux machines et chaudières à vapeur, autres que celles qui sont placées sur des bateaux, et l'instruction de M. le ministre des travaux publics sur les mesures de précaution habituelles à observer dans l'emploi des chaudières à vapeur, seront imprimées et affichées tant à Paris que dans les communes du ressort de la préfecture de police.

2. Le plan des localités et le dessin géométrique de la chaudière, prescrits par l'article 5 de l'ordonnance royale précitée, devront être dressés sur une échelle de cinq millimètres par mètre et être faits en double expédition. Le plan des localités devra indiquer les détails de l'exploitation, c'est-à-dire la désignation des fours, fourneaux, machines, foyers de toute espèce, réservoirs, ateliers, cours, puisards, etc., qui devront servir à l'établissement; enfin les tenants et aboutissants aux ateliers dans lesquels doit fonctionner l'appareil à vapeur.

3. Les contraventions seront constatées par des procès-verbaux qui nous seront adressés pour être transmis aux tribunaux compétents, sans préjudice des mesures administratives auxquelles elles pourraient donner lieu.

4. L'ingénieur en chef des mines, chargé du service spécial des appareils à vapeur; l'ingénieur en chef des mines, chargé

du service central de la partie métallurgique et de l'exploitation des chemins de fer, et les commissaires de police des chemins de fer; les sous-préfets des arrondissements de Sceaux et de Saint-Denis; les maires et les commissaires de police des communes du ressort de la préfecture de police, le chef de la police municipale, les commissaires de police de Paris, sont particulièrement chargés, chacun en ce qui le concerne, de tenir la main à l'exécution des dispositions de l'ordonnance royale précitée, et de nous en rendre compte.

Le conseiller d'Etat, préfet de police,
G. DELESSERT.

LOI DU 21 AVRIL 1810 SUR LES MINES.

TITRE PREMIER.

DES MINES, MINIÈRES ET CARRIÈRES.

ARTICLE 1er. Les masses de substances minérales ou fossiles renfermées dans le sein de la terre ou existantes à la surface sont classées, relativement aux règles de l'exploitation de chacune d'elles, sous les trois qualifications de mines, minières et carrières.

2. Seront considérées comme mines, celles connues pour contenir en filons, en couches ou en amas, de l'or, de l'argent, du platine, du mercure, du plomb, du fer en filons ou couches, du cuivre, de l'étain, du zinc, de la calamine, du bismuth, du cobalt, de l'arsenic, du manganèse, de l'antimoine, du molybdène, de la plombagine, ou autres matières métalliques; du soufre, du charbon de terre ou de pierre, du bois fossile, des bitumes, de l'alun et des sulfates à base métallique.

3. Les minières comprennent les minerais de fer dits d'allu-

vion, les terres pyriteuses propres à être converties en sulfate de fer, les terres alumineuses et les tourbes.

4. Les carrières renferment les ardoises, les grès, pierres à bâtir et autres; les marbres, granits, pierres à chaux, pierres à plâtre; les pouzzolanes, les stras, les basaltes, les laves, les marnes, craies, sables, pierres à fusil, argiles, kaolin, terres à foulon, terres à poterie; les substances terreuses et les cailloux de toute nature, les terres pyriteuses regardées comme engrais, le tout exploité à ciel ouvert ou avec des galeries souterraines.

TITRE II.

DE LA PROPRIÉTÉ DES MINES.

5. Les mines ne peuvent être exploitées qu'en vertu d'un acte de concession délibéré en conseil d'État.

6. Cet acte règle les droits des propriétaires de la surface sur le produit des mines concédées.

7. Il donne la propriété perpétuelle de la mine, laquelle est dès lors disponible et transmissible comme tout autre bien, et dont on ne peut être exproprié que dans les cas et selon les formes prescrites pour les autres propriétés, conformément au Code civil et au Code de procédure civile.

Toutefois, une mine ne peut être vendue par lots, ou partagée sans une autorisation préalable du gouvernement, donnée dans la même forme que la concession.

8. Les mines sont immeubles. Sont aussi immeubles, les bâtiments, machines, puits, galeries et autres travaux établis à demeure, conformément à l'article 524 du Code civil.

Sont aussi immeubles par destination, les chevaux, agrès, outils et ustensiles servant à l'exploitation.

Ne sont considérés comme chevaux attachés à l'exploitation, que ceux qui sont exclusivement attachés aux travaux intérieurs des mines.

Néammoins

prise pour

conformément

9. Sont

ments et

Section II

DE LA PRÉFÉRENCE A ACCORDER POUR LES CONCESSIONS.

13. Tout Français ou tout étranger naturalisé ou non en France, agissant isolément ou en société, a le droit de demander et peut obtenir, s'il y a lieu, une concession de mines.

14. L'individu ou la société doit justifier des facultés nécessaires pour entreprendre et conduire les travaux, et des moyens de satisfaire aux redevances, indemnités qui lui seront imposées par l'acte de concession.

15. Il doit aussi, le cas arrivant de travaux à faire sous des maisons ou lieu d'habitation, sous d'autres exploitations ou dans leur voisinage immédiat, donner caution de payer toute indemnité, en cas d'accident : les demandes ou oppositions des intéressés seront, en ce cas, portées devant nos tribunaux et cours.

16. Le gouvernement juge des motifs ou considérations d'après lesquels la préférence doit être accordée aux divers demandeurs en concession, qu'ils soient propriétaires de la surface, inventeurs ou autres.

En cas que l'inventeur n'obtienne pas la concession d'une mine, il aura droit à une indemnité de la part du concessionnaire; elle sera réglée par l'acte de concession.

17. L'acte de concession fait après l'accomplissement des formalités prescrites purge, en faveur du concessionnaire, tous les droits des propriétaires de la surface et des inventeurs, ou de leurs ayants droit, chacun dans leur ordre, après qu'ils ont été entendus ou appelés légalement, ainsi qu'il sera ci-après réglé.

18. La valeur des droits résultant en faveur du propriétaire de la surface, en vertu de l'article 6 de la présente loi, demeurera réunie à la valeur de ladite surface, et sera affectée avec elle aux hypothèques prises par les créanciers du propriétaire.

19. Du moment où une mine sera concédée, même au propriétaire de la surface, cette propriété sera distinguée de celle de la surface, et désormais considérée comme propriété nouvelle, sur laquelle de nouvelles hypothèques pourront être assises, sans préjudice de celles qui auraient été ou seraient prises sur la surface ou la redevance, comme il est dit à l'article précédent.

Si la concession est faite au propriétaire de la surface, ladite redevance sera évaluée pour l'exécution dudit article.

20. Une mine concédée pourra être affectée, par privilége, en faveur de ceux qui, par acte public et sans fraude, justifieraient avoir fourni des fonds pour les recherches de la mine, ainsi que pour les travaux de construction ou confection de machines nécessaires à son exploitation, à la charge de se conformer aux articles 2103 et autres du Code civil, relatifs aux priviléges.

21. Les autres droits de privilége et d'hypothèque pourront être acquis sur la propriété de la mine aux termes et en conformité du Code civil, comme sur les autres propriétés immobilières.

TITRE IV.

DES CONCESSIONS.

Section Première.

DE L'OBTENTION DES CONCESSIONS.

22. La demande en concession sera faite par voie de simple pétition adressée au préfet, qui sera tenu de la faire enregistrer à sa date sur un registre particulier, et d'ordonner les publications et affiches dans les dix jours.

23. Les affiches auront lieu pendant quatre mois, dans le chef-lieu du département, dans celui de l'arrondissement où la

mine est située, dans le lieu du domicile du demandeur et dans toutes les communes dans le territoire desquelles la concession peut s'étendre; elles seront insérées dans les journaux du département,

24. Les publications des demandes en concession de mines auront lieu devant la porte de la maison commune et des églises paroissiales et consistoriales, à la diligence des maires, à l'issue de l'office, un jour de dimanche, et au moins une fois par mois pendant la durée des affiches. Les maires seront tenus de certifier ces publications.

25. Le secrétaire général de la préfecture délivrera au requérant un extrait certifié de l'enregistrement de la demande en concession.

26. Les demandes en concurrence et les oppositions qui y seront formées seront admises devant le préfet jusqu'au dernier jour du quatrième mois, à compter de la date de l'affiche. Elles seront notifiées par des actes extrajudiciaires à la préfecture du département, où elles seront enregistrées sur le registre indiqué à l'article 22. Les oppositions seront notifiées aux parties intéressées, et le registre sera ouvert à tous ceux qui en demanderont communication.

27. A l'expiration du délai des affiches et publications, et sur la preuve de l'accomplissement des formalités portées aux articles précédents, dans le mois qui suivra, au plus tard, le préfet du département, sur l'avis de l'ingénieur des mines, et après avoir pris des informations sur les droits et les facultés des demandeurs, donnera son avis et le transmettra au ministre de l'intérieur [1].

28. Il sera définitivement statué sur la demande en concession par un décret délibéré en conseil d'État.

Jusqu'à l'émission du décret, toute opposition sera admis-

[1] Le ministère de l'intérieur réunissait alors ceux du commerce et des travaux publics. Toutes les fois que la loi renvoie au ministère de l'intérieur, cela ressort aujourd'hui du ministère des travaux publics.

sible devant le ministre de l'intérieur ou le secrétaire général du conseil d'État; dans ce dernier cas, elle aura lieu par une requête signée et présentée par un avocat au conseil, comme il est pratiqué pour les affaires contentieuses, et, dans tous les cas, elle sera notifiée aux parties intéressées.

Si l'opposition est motivée sur la propriété de la mine, acquise par concession ou autrement, les parties seront renvoyées devant les tribunaux et cours.

29. L'étendue de la concession *sera déterminée par l'acte de concession;* elle sera limitée par des points fixes pris à la surface du sol, et *passant par des plans verticaux*, menés de cette surface dans l'intérieur de la terre à une profondeur indéfinie, *à moins que les circonstances et les localités ne nécessitent un autre mode de limitation.*

30. Un plan régulier de la surface, en triple expédition, et sur une échelle de dix millimètres pour cent mètres, sera annexé à la demande.

Ce plan devra être dressé ou vérifié par l'ingénieur des mines, et certifié par le préfet du département.

31. Plusieurs concessions pourront être réunies entre les mains du même concessionnaire, soit comme individu, soit comme représentant une compagnie; mais à la charge de tenir en activité l'exploitation de chaque concession.

Section II.

DES OBLIGATIONS DES PROPRIÉTAIRES DE MINES.

32. L'exploitation des mines n'est pas considérée comme un commerce et n'est pas sujette à patente.

33. Les propriétaires de mines sont tenus de payer à l'État une redevance fixe et une redevance proportionnelle au produit de l'extraction.

34. La redevance fixe sera annuelle et réglée d'après l'étendue de celle-ci; elle sera de 10 francs par kilomètre carré.

La redevance proportionnelle sera une contribution annuelle, à laquelle les mines seront assujetties sur leurs produits.

35. La redevance proportionnelle sera réglée, chaque année, par le budget de l'État, comme les autres contributions publiques; toutefois elle ne pourra jamais s'élever au-dessus de cinq pour cent du produit net. Il pourra être fait un abonnement pour ceux des propriétaires des mines qui le demanderont.

36. Il sera imposé en sus un décime pour franc, lequel formera un fonds de non-valeur, à la disposition du ministre de l'intérieur, pour dégrèvement en faveur des propriétaires des mines qui éprouveront des pertes ou accidents.

37. La redevance proportionnelle sera imposée et perçue comme la contribution foncière.

Les réclamations à fin de dégrèvement ou de rappel à l'égalité proportionnelle seront jugées par les conseils de préfecture. Le dégrèvement sera de droit quand l'exploitant justifiera que la redevance excède cinq pour cent du produit net de son exploitation.

38. Le gouvernement accordera, s'il y a lieu, pour les exploitations qu'il en jugera susceptibles, et par un article de l'acte de concession, ou par un décret spécial délibéré en conseil d'État pour les mines déjà concédées, la remise en tout ou partie du payement de la redevance proportionnelle, pour le temps qui sera jugé convenable, et ce, comme encouragement, en raison de la difficulté des travaux. Semblable remise pourra aussi être accordée comme dédommagement, en cas d'accident de force majeure qui surviendrait pendant l'exploitation.

39. Le produit de la redevance fixe et de la redevance proportionnelle formera un fonds spécial, dont il sera tenu un compte particulier au trésor public, et qui sera appliqué aux dépenses de l'administration des mines, et à celles des recherches, ouvertures et mises en activité des mines nouvelles ou rétablissement des mines anciennes.

40. Les anciennes redevances dues à l'État, soit en vertu des lois, ordonnances ou règlements, soit d'après les conditions

énoncées en l'acte de concession, soit d'après des baux et adjudications au profit de la régie du domaine, cesseront d'avoir cours à compter du jour où les redevances nouvelles seront établies.

41. Ne sont pas comprises dans l'abrogation des anciennes redevances celles dues à titre de rentes, droits et prestations quelconques, pour cession de fonds ou autres causes semblables, sans déroger toutefois à l'application des lois qui ont supprimé les droits féodaux.

42. Le droit attribué par l'article 6 de la présente loi aux propriétaires de la surface, sera réglé à une somme déterminée par l'acte de concession.

43. Les propriétaires de mines sont tenus de payer les indemnités dues au propriétaire de la surface sur le terrain duquel ils établiront leurs travaux.

Si les travaux entrepris par les explorateurs ou par les propriétaires de mines ne sont que passagers, et si le sol où ils ont été faits peut être mis en culture au bout d'un an, comme il l'était auparavant, l'indemnité sera réglée au double de ce qu'aurait produit net le terrain endommagé

44. Lorsque l'occupation des terrains pour la recherche ou les travaux des mines prive les propriétaires du sol de la jouissance ou du revenu au delà du temps d'une année, ou lorsqu'après les travaux les terrains ne sont plus propres à la culture, on peut exiger des propriétaires des mines l'acquisition des terrains à l'usage de l'exploitation. Si le propriétaire de la surface le requiert, les pièces de terre trop endommagées ou dégradées sur une trop grande partie de leur surface devront être achetées en totalité par le propriétaire de la mine.

L'évaluation du prix sera faite, quant au mode, suivant les règles établies par la loi du 16 septembre 1807, sur le dessèchement des marais, etc., titre XI; mais le terrain à acquérir sera toujours estimé au double de la valeur qu'il avait avant l'exploitation de la mine.

45. Lorsque, par l'effet du voisinage ou par toute autre cause,

les travaux d'exploitation d'une mine occasionnent des dommages à l'exploitation d'une autre mine, à raison des eaux qui pénètrent dans cette dernière en plus grande quantité; lorsque, d'un autre côté, ces mêmes travaux produisent un effet contraire, et tendent à évacuer tout ou partie des eaux d'une autre mine, il y aura lieu à indemnité d'une mine en faveur de l'autre Le règlement s'en fera par experts.

46. Toutes les questions d'indemnités à payer par les propriétaires de mines, à raison des recherches ou travaux antérieurs à l'acte de concession, seront décidées conformément à l'article 4 de la loi du 28 pluviôse an VIII.

TITRE V.

DE L'EXERCICE DE LA SURVEILLANCE SUR LES MINES PAR L'ADMINISTRATION

47. Les ingénieurs des mines exerceront, sous les ordres du ministre de l'intérieur et des préfets, une surveillance de police pour la conservation des édifices et la sûreté du sol.

48. Ils observeront la manière dont l'exploitation sera faite, soit pour éclairer les propriétaires sur ses inconvénients ou son amélioration, soit pour avertir l'administration des vices, abus ou dangers qui s'y trouveraient.

49. Si l'exploitation est restreinte ou suspendue de manière à inquiéter sur la sûreté publique ou les besoins des consommateurs, les préfets, après avoir entendu les propriétaires, en rendront compte au ministre de l'intérieur, pour y être pourvu ainsi qu'il appartiendra.

50. Si l'exploitation compromet la sûreté publique, la conservation des puits, la solidité des travaux, la sûreté des ouvriers mineurs ou des habitations de la surface, il y sera pourvu par le préfet, ainsi qu'il est pratiqué en matière de grande voirie et selon les lois.

TITRE VI.

DES CONCESSIONS OU JOUISSANCES DES MINES ANTÉRIEURES A LA PRÉSENTE LOI.

§ Ier. — *Des anciennes concessions en général.*

51. Les concessionnaires antérieurs à la présente loi deviendront, du jour de sa publication, propriétaires incommutables, sans aucune formalité préalable d'affiches, vérification de terrain ou autres préliminaires, à la charge seulement d'exécuter, s'il y en a, les conventions faites avec les propriétaires de la surface, et sans que ceux-ci puissent se prévaloir des articles 6 et 42.

52. Les anciens concessionnaires seront, en conséquence, soumis au payement des contributions, comme il est dit à la section 2 du titre IV, art. 33 et 34, à compter de l'année 1811.

§ II. — *Des exploitations pour lesquelles on n'a pas exécuté la loi de 1791.*

53. Quant aux exploitants des mines qui n'ont pas exécuté la loi de 1791, et qui n'ont pas fait fixer, conformément à cette loi, les limites de leurs concessions, ils obtiendront les concessions de leurs exploitations actuelles, conformément à la présente loi; à l'effet de quoi les limites de leurs concessions seront fixées sur leurs demandes ou à la diligence des préfets, à la charge seulement d'exécuter les conventions faites avec les propriétaires de la surface, et sans que ceux-ci puissent se prévaloir des articles 6 et 42 de la présente loi.

54. Ils payeront en conséquence les redevances comme il est dit à l'article 52.

55. En cas d'usages locaux ou d'anciennes lois qui donneraient lieu à la décision de cas extraordinaires, les cas qui se

présenteront seront décidés par les actes de concession ou par les jugements de nos cours et tribunaux, selon les droits résultants, pour les parties, des usages établis, des prescriptions légalement acquises, ou des conventions réciproques.

56. Les difficultés qui s'élèveraient entre l'administration et les exploitants, relativement à la limitation des mines, seront décidées par l'acte de concession.

A l'égard des contestations qui auraient lieu entre des exploitants voisins, elles seront jugées par les tribunaux et cours.

TITRE VII.

RÈGLEMENT SUR LA PROPRIÉTÉ ET L'EXPLOITATION DES MINIÈRES ET SUR L'ÉTABLISSEMENT DES FORGES, FOURNEAUX ET USINES.

Section Première.

DES MINIÈRES.

57. L'exploitation des minières est assujettie à des règles spéciales.

Elle ne peut avoir lieu sans permission.

58. La permission détermine les limites de l'exploitation et les règles sous les rapports de sûreté et de salubrité publique.

Section II.

DE LA PROPRIÉTÉ ET DE L'EXPLOITATION DES MINERAIS DE FER D'ALLUVION.

59. Le propriétaire du fonds sur lequel il y a du minerai de fer d'alluvion, est tenu d'exploiter en quantité suffisante pour fournir, autant que faire se pourra, aux besoins des usines établies dans le voisinage avec autorisation légale : en ce cas il ne sera assujetti qu'à en faire la déclaration au préfet du dépar-

tement, elle contiendra la désignation des lieux : le préfet donnera acte de cette déclaration, ce qui vaudra permission pour le propriétaire, et l'exploitation aura lieu par lui sans autre formalité.

60. Si le propriétaire n'exploite pas, les maîtres de forges auront la faculté d'exploiter à sa place, à la charge 1° d'en prévenir le propriétaire, qui, dans un mois, à compter de la notification, pourra déclarer qu'il entend exploiter lui-même ; 2° d'obtenir du préfet la permission, sur l'avis de l'ingénieur des mines, après avoir entendu le propriétaire.

61. Si, après l'expiration du délai d'un mois, le propriétaire ne déclare pas qu'il entend exploiter, il sera censé renoncer à l'exploitation; le maître de forges pourra, après la permission obtenue, faire les fouilles immédiatement dans les terres incultes et en jachères, et, après la récolte, dans toutes les autres terres.

62. Lorsque le propriétaire n'exploitera pas en quantité suffisante, ou suspendra ses travaux d'extraction pendant plus d'un mois sans cause légitime, les maîtres de forges se pourvoiront auprès du préfet pour obtenir la permission d'exploiter à sa place.

Si le maître de forges laisse écouler un mois sans faire usage de cette permission, elle sera regardée comme non avenue, et le propriétaire du terrain rentrera dans tous ses droits.

63. Quand un maître de forges cessera d'exploiter un terrain, il sera tenu de le rendre propre à la culture ou d'indemniser le propriétaire.

64. En cas de concurrence entre plusieurs maîtres de forges, pour l'exploitation dans un même fonds, le préfet déterminera, sur l'avis de l'ingénieur des mines, les proportions dans lesquelles chacun d'eux pourra exploiter, sauf le recours au conseil d'État.

Le préfet réglera de même les proportions dans lesquelles chaque maître de forges aura droit à l'achat du minerai, s'il est exploité par le propriétaire.

65. Lorsque les propriétaires feront l'extraction du minerai pour le vendre aux maîtres de forges, le prix en sera réglé entre eux de gré à gré, ou par des experts choisis ou nommés d'office, qui auront égard à la situation des lieux, aux frais d'extraction et aux dégâts qu'elle aura occasionnés.

66. Lorsque les maîtres de forges auront fait extraire le minerai, il sera dû au propriétaire du fonds, et avant l'enlèvement du minerai, une indemnité qui sera aussi réglée par experts, lesquels auront égard à la situation des lieux, aux dommages causés, à la valeur du minerai, distraction faite des frais d'exploitation.

67. Si les minerais se trouvent dans les forêts royales, dans celles des établissements publics ou des communes, la permission de les exploiter ne pourra être accordée qu'après avoir entendu l'administration forestière, l'acte de permission déterminera l'étendue des terrains dans lesquels les fouilles pourront être faites : les exploitants seront tenus, en outre, de payer les dégâts occasionnés par l'exploitation, et de repiquer en glands ou plants les places qu'elle aurait endommagées, ou une autre étendue proportionnelle déterminée par la permission.

68. Les propriétaires ou maîtres de forges ou d'usines exploitant les minerais de fer d'alluvion ne pourront, dans cette exploitation, pousser des travaux réguliers par des galeries souterraines, sans avoir obtenu une concession, avec les formalités et sous les conditions exigées par les articles de la section Ire du titre III et les dispositions du titre IV.

69. Il ne pourra être accordé aucune concession pour minerai d'alluvion ou pour des mines en filons ou couches que dans les cas suivants :

1° Si l'exploitation à ciel ouvert cesse d'être possible, et si l'établissement de puits, galeries et travaux d'art est nécessaire;

2° Si l'exploitation, quoique possible encore, doit durer peu d'années, et rendre ensuite impossible l'exploitation avec puits et galeries.

70. En cas de concession, le concessionnaire sera tenu tou-

jours, 1° de fournir aux usines qui s'approvisionneraient de minerai sur les lieux compris en la concession la quantité nécessaire à leur exploitation, au prix qui sera porté au cahier des charges ou qui sera fixé par l'administration; 2° d'indemniser les propriétaires au profit desquels l'exploitation avait lieu, dans la proportion du revenu qu'ils en tiraient.

Section III.

DES TERRES PYRITEUSES ET ALUMINEUSES.

71. L'exploitation des terres pyriteuses et alumineuses sera assujettie aux formalités prescrites par les articles 57 et 58, soit qu'elle ait lieu par les propriétaires des fonds; soit par d'autres individus qui, à défaut par ceux-ci d'exploiter, en auraient obtenu la permission.

72. Si l'exploitation a lieu par des non-propriétaires, ils seront assujettis, en faveur des propriétaires, à une indemnité qui sera réglée de gré à gré ou par experts.

Section IV.

DES PERMISSIONS POUR L'ÉTABLISSEMENT DES FOURNEAUX, FORGES ET USINES.

73. Les fourneaux à fondre les minerais de fer et autres substances métalliques, les forges et martinets pour ouvrer le fer et le cuivre, les usines servant de patouillets et bocards, celles pour le traitement des substances salines et pyriteuses, dans lesquels on consomme des combustibles, ne pourront être établis que sur une permission accordée par un règlement d'administration publique.

74. La demande en permission sera adressée au préfet, enregistrée le jour de la remise sur un registre spécial à ce destiné, et affichée pendant quatre mois dans le chef-lieu du départe-

ment, dans celui de l'arrondissement, dans la commune où sera situé l'établissement projeté, et dans le lieu du domicile du demandeur.

Le préfet, dans le délai d'un mois, donnera son avis, tant sur la demande que sur les oppositions et les demandes en préférence qui seraient survenues; l'administration des mines donnera le sien sur la quotité du minerai à traiter; l'administration des forêts, sur l'établissement des bouches à feu en ce qui concerne les bois, et l'administration des ponts et chaussées, sur ce qui concerne les cours d'eau navigables ou flottables.

75. Les impétrants des permissions pour les usines supporteront une taxe une fois payée, laquelle ne pourra être au-dessous de cinquante francs ni excéder trois cents francs.

Section V.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES SUR LES PERMISSIONS.

76. Les permissions seront données à la charge d'en faire usage dans un délai déterminé; elles auront une durée indéfinie, à moins qu'elles n'en contiennent la limitation.

77. En cas de contraventions, le procès-verbal dressé par les autorités compétentes sera remis au procureur du roi, lequel poursuivra dans les formes prescrites ci-dessus, art. 67, la révocation de la permission, s'il y a lieu, et l'application des lois pénales qui y sont relatives.

78. Les établissements actuellement existants sont maintenus dans leur jouissance, à la charge par ceux qui n'ont jamais eu de permission, ou qui ne pourraient représenter la permission obtenue précédemment, d'en obtenir une avant le 1er janvier 1813, sous peine de payer un triple droit de permission pour chaque année pendant laquelle ils auront négligé de s'en pourvoir et continué de s'en servir.

79. L'acte de permission d'établir des usines à traiter le fer autorise les impétrants à faire des fouilles, même hors de leurs

propriétés, et à exploiter les minerais par eux découverts, ou ceux antérieurement connus, à la charge de se conformer aux dispositions de la section II.

80. Les impétrants sont autorisés à établir des patouillets, lavoirs et chemins de charroi, sur les terrains qui ne leur appartiennent pas; mais sous les restrictions portées en l'article 11, le tout à la charge d'indemnité envers les propriétaires du sol. et en les prévenant un mois d'avance

TITRE VIII.

Section Première.

DES CARRIÈRES.

81. L'exploitation des carrières à ciel ouvert a lieu sans permission, sous la simple surveillance de la police, et avec l'observation des lois ou règlements généraux ou locaux.

82. Quand l'exploitation a lieu par galeries souterraines, elle est soumise à la surveillance de l'administration, comme il est dit au titre V.

Section II.

DES TOURBIÈRES.

83. Les tourbes ne peuvent être exploitées que par le propriétaire du terrain ou de son consentement.

84. Tout propriétaire actuellement exploitant, ou qui voudra commencer à exploiter des tourbes dans son terrain, ne pourra continuer ou commencer son exploitation, à peine de cent francs d'amende, sans en avoir préalablement fait la déclaration à la sous-préfecture et obtenu l'autorisation.

85. Un règlement d'administration publique déterminera la direction générale des travaux d'extraction dans le terrain où

sont situées les tourbes, celles des rigoles de desséchement. et enfin toutes les mesures propres à faciliter l'écoulement des eaux dans les vallées, et l'atterrissement des entailles tourbées.

86. Les propriétaires exploitants, soit particuliers, soit communautés d'habitants, soit établissements publics, sont tenus de s'y conformer, à peine d'être contraints à cesser leurs travaux.

TITRE IX.

DES EXPERTISES.

87. Dans tous les cas prévus par la présente loi, et autres naissant des circonstances où il y aura lieu à expertise, les dispositions du titre XIV du Code de procédure civile, articles 303 à 323, seront exécutées.

88. Les experts seront pris parmi les ingénieurs des mines, ou parmi les hommes notables et expérimentés dans le fait des mines et de leurs travaux.

89. Le procureur du roi sera toujours entendu, et donnera ses conclusions sur le rapport des experts.

90. Nul plan ne sera admis comme pièce probante dans une contestation, s'il n'a été levé ou vérifié par un ingénieur des mines. La vérification des plans sera toujours gratuite.

91. Les frais et vacations des experts seront réglés et arrêtés, selon les cas, par les tribunaux : il en sera de même des honoraires qui pourront appartenir aux ingénieurs des mines; le tout suivant le tarif qui sera fait par un règlement d'administration publique.

Toutefois, il n'y aura pas lieu à honoraires pour les ingénieurs des mines, lorsque leurs opérations auront été faites soit dans l'intérêt de l'administration, soit à raison de la surveillance et de la police publique.

92. La consignation des sommes jugées nécessaires pour sub-

venir aux frais d'expertise pourra être ordonnée par le tribunal contre celui qui poursuivra l'expertise.

TITRE X.

DE LA POLICE ET DE LA JURIDICTION RELATIVES AUX MINES.

93. Les contraventions des propriétaires de mines, exploitants, non encore concessionnaires ou autres personnes, aux lois et règlements, seront dénoncées et constatées comme les contraventions en matière de voirie et de police.

94. Les procès-verbaux contre les contrevenants seront affirmés dans les formes et délais prescrits par la loi.

95. Ils seront adressés en originaux aux procureurs du roi, qui seront tenus de poursuivre d'office les contrevenants devant les tribunaux de la police correctionnelle, ainsi qu'il est réglé et usité pour les délits forestiers, et sans préjudice des dommages-intérêts des parties.

96. Les peines seront d'une amende de 500 fr. au plus, et de 100 fr. au moins, double en cas de récidive, et d'une détention qui ne pourra excéder la durée fixée par le Code de police correctionnelle.

Les personnes intéressées à connaître à fond la législation des mines devront recourir au *Traité de législation des mines*, du baron Locré, 1 vol. in-8°, chez Treuttel et Würtz.

N° 8,664 du Bulletin des Lois.

LOI DU 17 JUIN 1840 SUR LE SEL.

ARTICLE 1er. Nulle exploitation de mines de sel, de sources ou de puits d'eau salée naturellement ou artificiellement, ne

peut avoir lieu qu'en vertu d'une concession consentie par ordonnance royale, délibérée en conseil d'État.

2. Les lois et règlements généraux sur les mines sont applicables aux exploitations des mines de sel.

Un règlement d'administration publique déterminera, selon la nature de la concession, les conditions auxquelles l'exploitation sera soumise.

Le même règlement déterminera aussi les formes des enquêtes qui devront précéder les concessions de sources ou de puits d'eau salée.

Seront applicables à ces concessions les dispositions des titres V et X de la loi du 21 avril 1810.

3. Les concessions seront faites de préférence aux propriétaires des établissements déjà existants.

4. Les concessions ne pourront excéder vingt kilomètres carrés, s'il s'agit d'une mine de sel, et un kilomètre carré pour l'exploitation d'une source ou d'un puits d'eau salée.

Dans l'un ou l'autre cas, les actes de concession régleront les droits du propriétaire de la surface, conformément aux articles 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810.

Aucune redevance personnelle ne sera exigée au profit de l'État.

5. Les concessionnaires de mines de sel, de sources ou de puits d'eau salée, seront tenus, 1° de faire, avant toute exploitation ou fabrication, la déclaration prescrite par l'article 51 de la loi du 24 avril 1802; 2° d'extraire ou de fabriquer au minimum et annuellement une quantité de cinq cent mille kilogrammes de sel, pour être livrée à la consommation intérieure et assujettie à l'impôt.

Toutefois, une ordonnance royale pourra, dans les circonstances particulières, autoriser la fabrication au-dessous du minimum. Cette autorisation pourra toujours être retirée.

Des règlements d'administration publique détermineront, dans l'intérêt de l'impôt, les conditions auxquelles l'exploitation et la fabrication seront soumises, ainsi que le mode de sur-

veillance à exercer, de manière à ce que le droit soit perçu sur les quantités de sel réellement fabriquées.

Les dispositions du présent article sont applicables aux exploitations ou fabriques actuellement existántes.

6. Tout concessionnaire ou fabricant qui voudra cesser d'exploiter ou de fabriquer est tenu d'en faire la déclaration au moins un mois d'avance.

Le droit de consommation sur les sels extraits ou fabriqués, qui seraient encore en la possession du concessionnaire ou du fabricant, un mois après la cessation de l'exploitation ou de la fabrication, sera exigible immédiatement.

L'exploitation ou la fabrication ne pourront être reprises qu'après un nouvel accomplissement des obligations mentionnées en l'article 5.

7. Toute exploitation ou fabrication de sel, entreprise avant l'accomplissement des formalités prescrites par l'article 5, sera frappée d'interdiction par voie administrative ; le tout sans préjudice, s'il y a lieu, des peines portées en l'article 10.

Les arrêtés d'interdiction rendus par les préfets seront exécutoires par provision, nonobstant tout recours de droit.

8. Tout exploitant ou fabricant de sel, dont les produits n'auront pas atteint le minimum déterminé par l'article 5, sera passible d'une amende égale au droit qui aurait été perçu sur les quantités de sel manquant pour atteindre le minimum.

9. L'enlèvement et le transport des eaux salées et des matières salifères sont interdits pour toute destination autre que celle d'une fabrique régulièrement autorisée, sauf l'exception portée en l'article 12.

Des règlements d'administration publique détermineront les formalités à observer pour l'enlèvement et la circulation.

10. Toute contravention aux dispositions des articles 5, 6, 7 et 9, et des ordonnances qui en régleront l'application, sera punie de la confiscation des eaux salées, matières salifères, sels fabriqués, ustensiles de fabrication, moyens de transport, d'une amende de 500 fr. à 5,000 fr., et dans tous les cas, du paye-

ment du double droit sur le sel pur, mélangé ou dissous dans l'eau, fabriqué, transporté, ou soustrait à la surveillance.

En cas de récidive, le maximum de l'amende sera prononcé. L'amende pourra même être portée jusqu'au double.

11. Les dispositions des articles 5, 6, 7, 9 et 10, *sauf l'obligation du minimum de fabrication*, sont applicables aux établissements de produits chimiques dans lesquels il se produit en même temps du sel marin.

Dans les fabriques de salpêtre qui n'opèrent pas exclusivement sur les matériaux de démolition, et dans les fabriques de produits chimiques, la quantité de sel marin résultant des préparations sera constatée par les exercices des employés des contributions indirectes.

12. Les règlements d'administration publique détermineront les conditions auxquelles pourront être autorisés l'enlèvement, le transport et l'emploi en franchise ou avec modération de droits, du sel de toute origine, des eaux salées ou des matières salifères, à destination des exploitations agricoles ou manufacturières, et de la salaison, soit en mer, soit à terre, des poissons de toute sorte.

13. Toute infraction aux conditions sous lesquelles la franchise ou la modération des droits aura été accordée en vertu de l'article précédent, sera punie de l'amende prononcée par l'article 10, et, en outre, du payement du double droit sur toute quantité de sel pur, ou contenu dans les eaux salées et les matières salifères, qui aura été détournée en fraude.

La disposition précédente est applicable aux quantités de sel que représenteront, d'après les allocations qui auront été déterminées, les salaisons à l'égard desquelles il aura été contrevenu aux règlements.

Quant aux salaisons qui jouissent du droit d'employer le sel étranger, le double droit à payer pour amende sera calculé à raison de soixante francs pour cent kilogrammes, sans remise.

Les fabriques ou établissements, ainsi que les salaisons en mer ou à terre, jouissant déjà de la franchise, sont également soumis aux dispositions du présent article.

14. Les contraventions prévues par la présente loi seront poursuivies devant les tribunaux de police correctionnelle, à la requête de l'administration des douanes ou de celle des contributions indirectes.

15. Avant le 1er juillet 1841, une ordonnance royale réglera la remise accordée à titre de déchet en raison des lieux de production, et après les expériences qui auront constaté la déperdition réelle des sels, sans que, dans aucun cas, cette remise puisse excéder cinq pour cent.

Il n'est rien changé aux autres dispositions des lois et règlements relatifs à l'exploitation des marais salants.

16. Jusqu'au 1er janvier 1851, des ordonnances royales régleront :

1° L'exploitation des petites salines du côté de la Manche;

2° Les allocations et franchises sur le sel dit *de troque* dans les départements du Morbihan et de la Loire-Inférieure.

A cette époque, toutes les ordonnances rendues en vertu du présent article cesseront d'être exécutoires, et toutes les salines seront soumises aux prescriptions de la présente loi.

17. Les salines, salins et marais salants seront cotisés à la contribution foncière, conformément au décret du 15 octobre 1810, savoir : les bâtiments qui en dépendent d'après leur valeur locative, et les terrains et emplacements sur le pied des meilleures terres labourables.

La somme dont les salines, salins et marais salants auront été dégrevés par suite de cette cotisation, sera reportée sur l'ensemble de chacun des départements où ces propriétés sont situées.

18. Les clauses et conditions du traité consenti entre le ministre des finances et la compagnie des salines et mines de sel de l'Est, pour la résiliation du bail passé le 31 octobre 1825,

sont et demeurent approuvées. Ce traité restera annexé à la présente loi [1].

Le ministre des finances est autorisé à effectuer les payements ou restitutions qui devront être opérés pour l'exécution dudit traité.

Il sera tenu un compte spécial où les dépenses seront successivement portées, ainsi que les recouvrements qui seront opérés jusqu'au terme de l'exploitation.

Il est ouvert au ministre des finances, sur l'exercice 1841, un crédit de cinq millions, montant présumé de l'excédant de dépense qui pourra résulter de cette liquidation, dont le compte sera présenté aux Chambres.

19. Les dispositions de la présente loi qui pourraient porter atteinte aux droits de la concession faite au domaine de l'État, en exécution de la loi du 6 avril 1825, n'auront effet, dans les départements dénommés en ladite loi, qu'après le 1er octobre 1841.

Jusqu'à cette époque, les lois et règlements existants continueront à recevoir leur application dans lesdits départements.

La présente loi, discutée, délibérée et adoptée par la Chambre des pairs et par celle des députés, et sanctionnée par nous cejourd'hui, sera exécutée comme loi de l'État.

[1] Le bail des salines de l'État a été résilié d'un commun accord, par l'État et la compagnie, le 24 mars 1838.

ORDONNANCE ROYALE DU 7 MARS 1841

INSÉRÉE AU BULLETIN DES LOIS SOUS LE N° 9,229

PORTANT RÈGLEMENT SUR LES CONCESSIONS DE MINES DE SEL ET DE SOURCES ET PUITS D'EAU SALÉE, ET SUR LES USINES DESTINÉES A LA FABRICATION DU SEL.

TITRE PREMIER.

DES MINES DE SEL.

ARTICLE 1er. Il ne pourra être fait de concession de mine de sel sans que l'existence du dépôt de sel ait été constatée par des puits, des galeries ou des trous de sonde.

2. Les demandes en concession seront inscrites conformément aux dispositions de la loi du 21 avril 1810; elles contiendront les propositions du demandeur, dans le but de satisfaire aux droits attribués aux propriétaires de la surface par les articles 6 et 42 de la loi du 21 avril 1810.

3. L'exploitation d'une mine de sel, soit à l'état solide, par puits ou galeries, soit par dissolution, au moyen de trous de sonde ou autrement, ne pourra être commencée qu'après que le projet des travaux aura été approuvé par l'administration.

A cet effet, le concessionnaire soumettra au préfet un mémoire indiquant la manière dont il entend procéder à l'exploitation, la disposition générale des travaux qu'il se propose d'exécuter, et la situation des puits, galeries, et trous de sonde, par rapport aux habitations, routes et chemins. Il y joindra les plans et coupes nécessaires à l'intelligence de son projet.

Lorsque le projet d'exploitation aura été approuvé, il ne pourra être changé sans une nouvelle autorisation.

L'approbation de l'administration sera également nécessaire pour l'ouverture de tout nouveau champ d'exploitation.

ordonnance; elle sera limitée par des points fixes pris à la surface du sol.

15. Lorsque, dans l'étendue du périmètre qui lui est concédé, le concessionnaire voudra pratiquer, pour l'exploitation de l'eau salée, une ouverture autre que celle désignée par l'acte de concession, il adressera au préfet, avec un plan à l'appui, une demande qui sera affichée pendant un mois dans chacune des communes sur lesquelles s'étend la concession; une copie de ce plan sera déposée dans chaque mairie.

S'il ne s'élève aucune réclamation contre la demande, l'autorisation sera accordée par le préfet. Dans le cas contraire, il sera statué par notre ministre des travaux publics.

16. Toutes les questions d'indemnités à payer par le concessionnaire d'une source ou d'un puits d'eau salée, à raison des recherches ou travaux antérieurs à l'acte de concession, seront décidées conformément à l'article 4 de la loi du 28 pluviôse an VIII.

17. Les indemnités à payer par le concessionnaire aux propriétaires de la surface, à raison de l'occupation des terrains nécessaires à l'exploitation des eaux salées, seront réglées conformément aux articles 43 et 44 de la loi du 21 avril 1810.

18. Aucune concession de source ou de puits d'eau salée ne peut être vendue par lots et partagée sans une autorisation préalable du gouvernement, donnée dans les mêmes formes que la concession.

TITRE III.

DISPOSITIONS COMMUNES AUX CONCESSIONS DE MINES DE SEL ET AUX CONCESSIONS DE SOURCES ET DE PUITS D'EAU SALÉE.

19. Aucune recherche de mines de sel ou d'eau salée, soit par les propriétaires de la surface, soit par des tiers autorisés en vertu de l'article 10 de la loi du 21 avril 1810, ne pourra être commencée qu'un mois après la déclaration faite à la pré-

fecture. Le préfet en donnera avis immédiatement au directeur des contributions indirectes ou au directeur des douanes, suivant les cas.

20. Il ne pourra être fait, dans le même périmètre, à deux personnes différentes, une concession de mine de sel et une concession de source ou de puits d'eau salée.

Mais tout concessionnaire de source ou de puits d'eau salée, qui aura justifié de l'existence d'un dépôt de sel dans le périmètre à lui concédé, pourra obtenir une nouvelle concession, conformément au titre I[er] de la présente ordonnance.

Jusque-là tout puits, toute galerie, ou tout autre ouvrage d'exploitation de mine, est interdit au concessionnaire de la source ou du puits d'eau salée.

21. Dans les cas où l'exploitation, soit des mines de sel, soit des sources ou des puits d'eau salée, compromettrait la sûreté publique, la conservation des travaux, la sûreté des ouvriers ou des habitations de la surface, il y sera pourvu ainsi qu'il est dit en l'article 50 de la loi du 21 avril 1810.

22. Tout puits, toute galerie, tout trou de sonde ou tout autre ouvrage d'exploitation ouvert sans autorisation, seront interdits conformément aux dispositions de l'article 8 de la loi du 27 avril 1838.

Néanmoins les exploitations en activité à l'époque de la promulgation de la loi du 17 juin 1840 sont provisoirement maintenues, à charge par les exploitants de former, dans un délai de trois mois, à compter de la promulgation de la présente ordonnance, des demandes en concession, conformément au premier paragraphe du présent article.

23. Les concessions pourront être révoquées dans les cas prévus par l'article 49 de la loi du 21 avril 1810. Il sera alors procédé conformément aux règles établies par la loi du 27 avril 1838.

24. Le directeur des contributions indirectes ou des douanes, selon les cas, sera consulté par le préfet sur toute demande en concession de mine de sel, de source ou de puits d'eau salée.

Le préfet consultera ensuite les ingénieurs des mines et transmettra les pièces à notre ministre des travaux publics, avec leurs rapports et son avis.

Les pièces relatives à chaque demande seront communiquées par notre ministre des travaux publics à notre ministre des finances.

TITRE IV.

DES PERMISSIONS RELATIVES A L'ÉTABLISSEMENT DES USINES POUR LA FABRICATION DU SEL.

25. Les usines destinées à l'élaboration du sel gemme ou au traitement des eaux salées ne pourront être établies, soit par les concessionnaires des mines de sel, de sources ou de puits d'eau salée, soit par tous autres, qu'en vertu d'une permission accordée par une ordonnance royale, après l'accomplissement des formalités prescrites par l'article 74 de la loi du 21 avril 1810. Toutefois, le délai des affiches est réduit à un mois.

Le demandeur devra justifier que l'usine pourra suffire à la fabrication annuelle d'au moins cinq cent mille kilogrammes de sel, sauf l'application de la faculté ouverte par le deuxième alinéa de l'article 5 de la loi du 17 juin 1840.

Seront d'ailleurs observées les dispositions des lois et règlements sur les établissements dangereux, incommodes ou insalubres.

26. La demande en permission devra être accompagnée d'un plan, en quadruple expédition, à l'échelle de deux millimètres par mètre, indiquant la situation et la consistance de l'usine. Ce plan sera vérifié et certifié par les ingénieurs des mines et visé par le préfet.

Les oppositions auxquelles la demande pourra donner lieu seront signifiées au demandeur et au préfet par des actes extrajudiciaires.

27. Les dispositions de l'article 24 ci-dessus, relatives aux

demandes en concessions de mines de sel ou de sources d'eau salée et de puits d'eau salée, seront également observées à l'égard des demandes en permission d'usine.

28. Les permissions seront données à la charge d'en faire usage dans un délai déterminé. Elles auront une durée indéfinie, à moins que l'ordonnance d'autorisation n'en ait décidé autrement.

29. Elles pourront être révoquées pour cause d'inexécution des conditions auxquelles elles auront été accordées.

La révocation sera prononcée par arrêté de notre ministre des travaux publics. Cet arrêté sera exécutoire par provision, nonobstant tout recours de droit.

30. Les fabriques légalement en activité à l'époque de la promulgation de la loi du 17 juin 1840 sont maintenues provisoirement, à charge par les propriétaires de former une demande en permission dans un délai de trois mois, à partir de la promulgation de la présente ordonnance.

Dans le cas où cette permission ne serait point accordée, les établissements seront interdits, dans les formes indiquées au second paragraphe de l'article précédent.

31. Nos ministres secrétaires d'État au département des travaux publics et des finances sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution de la présente ordonnance qui sera insérée au *Bulletin des Lois*.

LOI DU 29 AVRIL 1845 SUR LES IRRIGATIONS

Article 1er. Tout propriétaire qui voudra se servir, pour l'irrigation de ses propriétés, des eaux naturelles ou artificielles dont il a le droit de disposer, pourra obtenir le passage de ces eaux sur des fonds intermédiaires, à la charge d'une juste et préalable indemnité.

Sont exceptés de cette servitude les maisons, cours, jardins, parcs et enclos attenant aux habitations.

2. Les propriétaires des fonds inférieurs devront recevoir les eaux qui s'écouleront des terrains ainsi arrosés, sauf l'indemnité qui pourra leur être due.

Seront également exceptés de cette servitude les maisons, cours, jardins, parcs et enclos attenant aux habitations.

3. La même faculté de passage sur les fonds intermédiaires pourra être accordée au propriétaire d'un terrain submergé en tout ou partie, à l'effet de procurer aux eaux nuisibles leur écoulement.

4. Les contestations auxquelles pourront donner lieu l'établissement de la servitude, la fixation du parcours de la conduite d'eau, de ses dimensions et de sa forme, et les indemnités dues, soit au propriétaire du fonds traversé, soit à celui du fonds qui recevra l'écoulement des eaux, seront portées devant les tribunaux qui, en prononçant, devront concilier l'intérêt de l'opération avec le respect dû à la propriété.

Il sera procédé devant les tribunaux comme en matière sommaire, et, s'il y a lieu à expertise, il pourra n'être nommé qu'un seul expert.

5. Il n'est aucunement dérogé par les présentes dispositions aux lois qui règlent la police des eaux.

FIN DU TOME PREMIER.

TABLE MÉTHODIQUE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.

CHAPITRE TROISIÈME

CHAPITRE QUATRIÈME

DES DIFFÉRENTES APPLICATIONS DE LA SONDE.

CHAPITRE CINQUIÈME

INSTRUMENTS DE PRÉCISION.

CHAPITRE SIXIÈME

LÉGISLATION.

FIN DE LA TABLE DU PREMIER VOLUME.

Paris. — Typ. P.-A. Bourdier et Cie, rue Mazarine, 30.

